



**Pedro André Carreira Barreiros dos Santos**

Licenciado em Engenharia Civil

## **Caracterização de argamassas de cal aérea e terra A influência do traço e tipo de fibra natural**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientadora: Maria Paulina Faria Rodrigues, Professora Associada, Faculdade de  
Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Mário Jorge Vicente da Silva

Arguente: Professora Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen

Vogal: Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Junho de 2014**



‘Copyright’ Pedro André Carreira Barreiros dos Santos, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



# Agradecimentos

Finalizada uma das mais importantes etapas da minha vida, quero agradecer a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, me ajudaram e apoiaram ao longo deste caminho.

Em primeiro lugar, um especial agradecimento à minha orientadora científica Professora Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues, pela sua disponibilidade, orientação, auxílio e correcções que levaram ao sucesso final e que sem o seu contributo não seria possível. Ao Engenheiro Vítor Silva, quero agradecer todo o apoio incansável que me prestou, quer durante a campanha experimental, quer mais tarde, bem como todo o conhecimento que me transmitiu. Um especial obrigado pela sua disponibilidade, paciência, simpatia e amizade demonstradas ao longo de todo este processo.

Agradeço também à Mestre Idália Gomes e à Sorgila pela disponibilização da terra, à Lusical pela disponibilização da cal aérea, à Orivárzea pela disponibilização da casca de arroz e à Multilã pela disponibilização das *blouces* de lã de ovelha.

Aos meus colegas e amigos Duarte Vargas, João Valério e Tiago Madeira, que trabalharam a meu lado durante este longo trajecto, sobretudo durante a execução dos ensaios. Sem eles, tudo teria sido mais difícil e moroso e desta forma pudemos partilhar bons momentos e muito conhecimento.

À minha namorada e também colega de curso Inês Dias, pelo apoio e conselhos que me prestou, não só durante a realização deste trabalho mas também fora da vida académica. Ela foi o meu braço direito e o meu primeiro apoio, ajudando-me a ultrapassar todos os obstáculos que foram aparecendo. Agradeço-lhe pela sua amizade, carinho e companheirismo que certamente me ajudaram a percorrer esta etapa.

Quero agradecer tanto aos amigos de longa data como aos que fiz na faculdade, que me apoiaram nesta longa caminhada que foi o meu percurso académico e me ajudaram a tornar a pessoa que sou hoje. A todos, um enorme obrigado, quer pelos momentos de estudo e trabalho, quer pelos momentos de diversão e convívio.

Por fim, e acima de todos, agradeço a toda a minha família, especialmente aos meus pais Isabel e João e irmã Alexandra, por me terem oferecido todas as condições que estavam ao seu alcance para a realização do curso e do presente trabalho. Muito obrigado pela força e a motivação necessária nos momentos mais difíceis e por nunca terem desistido de me apoiar.



# Resumo

A crescente consciencialização das sociedades para a reabilitação de edifícios tem aumentado o interesse da comunidade científica por argamassas tradicionais baseadas em materiais mais sustentáveis e compatíveis com suportes antigos. Contrariamente ao cimento, de uso generalizado nas últimas décadas, as argamassas com base em cal aérea têm recuperado espaço na construção graças aos seus bons resultados, sobretudo quando aplicadas em edifícios antigos. A introdução de fibras naturais constitui uma tentativa para melhorar certas características das argamassas, aumentando a sua durabilidade, sem perder sustentabilidade. Contudo, a incorporação de terra e fibras naturais em argamassas de cal aérea não é actualmente uma prática generalizada, pelo que o seu estudo é imprescindível para perceber a sua viabilidade.

Neste contexto, esta dissertação avalia a influência da introdução de terra argilosa e de fibras naturais em argamassas de cal aérea. As argamassas estudadas são constituídas por cal aérea e areias siliciosas, partindo de traços volumétricos 1:2 e 1:3. Nas argamassas de traço mais forte é feita uma substituição de 25% do ligante (cal aérea) por terra, enquanto nas de traço mais fraco se substitui 10% de areia fina por terra. Realizaram-se ensaios de caracterização nas argamassas em estado fresco e em estado endurecido (28, 90 e 180 dias), sobre provetes condicionados em laboratório (prismáticos e sobre tijolo) e, aos 28 dias, sobre painéis de reboco aplicados num murete de taipa existente na Estação de Exposição Natural de Revestimentos do DEC da FCT-UNL.

No estado fresco verificou-se que a introdução de fibras naturais nas argamassas aumenta o seu espalhamento, melhorando a trabalhabilidade. No estado endurecido, constatou-se que a inclusão dessas fibras tornou as argamassas mais porosas e, consequentemente, com melhor comportamento térmico e pior comportamento mecânico, pela redução de resistências. No comportamento face à água, a adição de lã de ovelha destacou-se como uma solução que melhora, consideravelmente, as condições de secagem. A generalidade das argamassas estudadas revela grande aptidão para aplicação em reboco de edifícios antigos mas o teor de fibras deve ser limitado.

**Termos chave:** Argamassa, Cal aérea, Terra argilosa, Fibra natural, Taipa, Caracterização.





# Abstract

The awareness of the society to the rehabilitation of old buildings is growing and it has contributed to an increased interest among the scientific community on developing and using traditional mortars based on more sustainable materials compatible to the old walls. Even though cement has been broadly used during the last few decades, the use of air lime based mortars has increased as very good results have been obtained, especially when applied to old buildings. The inclusion of natural fibers is an attempt to improve some mortars' characteristics, increasing durability but maintaining sustainability. However, the inclusion of earth and natural fibers in air lime based mortars is not a common practice and the study of these options is crucial in order to understand its viability.

In this context, this dissertation will evaluate the influence of the introduction of clayish earth and natural fibers in air lime based mortars. The mortars are composed of air lime and siliceous sands, with volumetric composition based on 1:2 and 1:3. In 1:2 based mortars, 25% of the binder mass (air lime) is replaced by earth, and in 1:3 based mortars, 10% of the fine sand mass is replaced by earth. Characterization tests were performed, in both fresh and hardened state (28, 90 and 180 days) on laboratory conditioned samples (prismatic and over hollow bricks) and, after 28 days, on rendering sections applied to a rammed earth wall in the Exterior Exposure Station of the Civil Engineering Department, *Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa*.

In fresh state, it was confirmed that the introduction of natural fibers on the mortars improved their flow table consistency and therefore contributed to a better workability. When hardened, the inclusion of this type of fibers made the mortar more porous and, as a consequence, with better thermal performance but poorer mechanical performance, due to a decrease of strength. When analyzing performance in relation to water, the inclusion of sheep wool demonstrated to be an option that considerably improves the drying conditions. The majority of the mortars revealed to be suitable to apply as a render and plaster in old buildings but the amount of natural fibers used should be limited.

**Keywords:** Mortar, Hydrated lime, Earth, Natural fiber, Rammed earth, Characterization.



# Índice de Texto

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento do tema .....	1
1.2. Objectivos e metodologia .....	2
1.3. Plano e estrutura da dissertação .....	3
<b>2. Estado do conhecimento.....</b>	<b>5</b>
2.1. Conjuntura actual da construção em Portugal: construção nova e reabilitação .....	5
2.2. Matérias-primas .....	6
2.2.1. A cal aérea .....	6
2.2.2. A Terra como material de construção .....	7
2.3. Argamassas correntes.....	10
2.3.1. Argamassas de cal aérea: adição de fibras naturais .....	11
2.3.2. Argamassas de terra e mistas: com cal aérea e fibras naturais .....	13
2.3.3. Exigências funcionais das argamassas .....	14
2.4. Paredes de Terra em Portugal .....	17
<b>3. Argamassas, provetes e cura .....</b>	<b>21</b>
3.1. Constituintes das argamassas .....	21
3.1.1. Cal aérea .....	21
3.1.2. Areias .....	22
3.1.3. Terra .....	24
3.1.4. Fibras naturais.....	25
3.1.5. Água .....	26
3.2. Formulação das argamassas .....	26
3.3. Produção das argamassas e preparação dos provetes.....	29
3.3.1. Amassaduras.....	30
3.3.2. Provetes prismáticos .....	31
3.3.3. Provetes de argamassa sobre Tijolo.....	32
3.3.4. Aplicação em parede de taipa.....	33
3.4. Condições de cura .....	35
<b>4. Ensaios de caracterização e resultados .....</b>	<b>37</b>
4.1. Ensaios em estado fresco .....	38
4.1.1. Consistência por espalhamento.....	38
4.1.2. Retenção de água .....	42
4.1.3. Massa volúmica.....	45
4.1.4. Teor de ar.....	47
4.2. Ensaios em estado endurecido .....	48

4.2.1. <i>Provetes prismáticos de argamassa</i> .....	49
4.2.1.1 Massa volúmica aparente .....	50
4.2.1.2 Condutibilidade térmica .....	52
4.2.1.3 Velocidade de propagação de ultra-sons.....	54
4.2.1.4 Módulo de elasticidade dinâmico .....	57
4.2.1.5 Resistências à tracção por flexão e à compressão .....	60
4.2.1.6 Absorção de água por capilaridade .....	65
4.2.1.7 Secagem.....	72
4.2.1.8 Porosidade aberta e massa volúmica .....	77
4.2.1.9 Resistência aos sulfatos .....	81
4.2.2. <i>Provetes de argamassa em suporte de tijolo</i> .....	86
4.2.2.1 Condutibilidade térmica .....	86
4.2.2.2 Dureza superficial por durómetro Shore A.....	88
4.2.2.3 Velocidade de propagação de ultra-sons.....	89
4.2.2.4 Absorção de água sob baixa pressão .....	92
4.3. Rebocos de argamassas no Murete de Taipa.....	97
4.3.1. <i>Caracterização do murete de taipa</i> .....	98
4.3.1.1 Absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten) .....	99
4.3.1.2 Dureza superficial .....	101
4.3.1.2.1 Esclerómetro pendular [graus Vickers] .....	101
4.3.1.2.2 Durómetro [graus Shore A] .....	102
4.3.1.3 Condutibilidade térmica .....	103
4.3.2. <i>Ensaaios aos rebocos no murete de taipa</i> .....	104
4.3.2.1 Dureza superficial por durómetro Shore A.....	105
4.3.2.2 Dureza superficial por esclerómetro pendular.....	105
4.3.2.3 Absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten) .....	106
<b>5. Discussão de resultados</b> .....	<b>109</b>
5.1. Resumo dos resultados da caracterização das argamassas.....	109
5.2. Comparação dos resultados obtidos no estado fresco .....	109
5.3. Comparação dos resultados no estado endurecido.....	114
5.3.1. <i>Condutibilidade térmica: Prismas versus tijolos</i> .....	114
5.3.2. <i>Velocidade de propagação de ultra-sons: Primas versus tijolos</i> .....	116
5.3.3. <i>Influência da compacidade na condutibilidade térmica</i> .....	117
5.3.4. <i>Comportamento face à acção da água: Provetes prismáticos</i> .....	120
5.3.5. <i>Propriedades mecânicas: Provetes prismáticos</i> .....	127
5.3.6. <i>Influência do suporte: Murete de taipa versus tijolo corrente</i> .....	133
5.4. Avaliação das argamassas.....	135
<b>6. Conclusões</b> .....	<b>143</b>
6.1. Considerações finais .....	143
6.2. Principais conclusões .....	143
6.3. Propostas de desenvolvimento futuro .....	145

<b>Bibliografia .....</b>	<b>147</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>I</b>
A.1. Ensaio realizado.....	I
A.2. Valores da caracterização do murete de taipa .....	II
A.3. Valores da caracterização das argamassas em estado fresco .....	IV
A.4. Valores da caracterização das argamassas em estado endurecido aos 28 dias –	
Provetes prismáticos e em suporte tijolo.....	VII
A.4.1. <i>Provetes em suporte tijolo</i> .....	VII
A.4.2. <i>Provetes prismáticos</i> .....	XV
A.4.3. <i>Reboco de argamassa em Murete de Taipa</i> .....	XXIII
A.5. Valores da caracterização das argamassas em estado endurecido aos 90 dias –	
Provetes prismáticos e em suporte tijolo.....	XXVI
A.5.1. <i>Provetes em suporte tijolo</i> .....	XXVI
A.5.2. <i>Provetes prismáticos</i> .....	XXXII
A.6. Valores da caracterização das argamassas em estado endurecido aos 180 dias –	
Provetes prismáticos e em suporte tijolo.....	LV
A.6.1. <i>Provetes em suporte tijolo</i> .....	LV
A.6.2. <i>Provetes prismáticos</i> .....	LXIII



# Índice de Figuras

Figura 2.1 – Número de edifícios licenciados desde 2010 (APCMC 2013).....	5
Figura 2.2 - Proporção de alojamentos familiares por estado de conservação e forma de ocupação (INE 2013) .....	6
Figura 2.3 – Ciclo natural da construção e os vários horizontes do solo (Ponte 2012).....	8
Figura 2.4 – Distribuição geográfica em Portugal das principais técnicas construtivas tradicionais em terra (Carvalho <i>et al.</i> 2008) .....	18
Figura 3.1 – Cal aérea (CL) da Lusical .....	21
Figura 3.2 – Baridade da cal; a) Obstrução da base do funil; b) Formação de um cone de cal no topo do recipiente; c) Razagem da superfície e pesagem do conjunto.....	22
Figura 3.3 - Curvas granulométricas das três areias e da mistura de areias utilizada. ....	23
Figura 3.4 – Amostras de areia com granulometria decrescente da esquerda para a direita. ....	24
Figura 3.5 - Curva granulométrica da terra argilosa por via húmida (Gomes <i>et al.</i> 2012a).....	25
Figura 3.6 – Amostra da terra argilosa desterrada. ....	25
Figura 3.7 – As fibras: a) casca de arroz; b) crina de cavalo antes de ser cortada; c) resíduo de lã de ovelha. ....	26
Figura 3.8 – Início do processo de amassadura; a) Pesagem dos constituintes sólidos; b) Homogeneização da mistura; c) Colocação da cuba na misturadora. ....	30
Figura 3.9 - Finalização do processo de amassadura; a) adição de água; b) Aspecto final. ....	30
Figura 3.10 – Dificuldades no processo de amassadura de uma mistura com fibras de lã de ovelha.....	31
Figura 3.11 – Execução dos provetes prismáticos; a) Preparação do molde; b) Fixação do molde na máquina de compactação; c) Aspecto final .....	32
Figura 3.12 - Quantidade de água absorvida pelo tijolo furado ao longo do tempo (Dias 2013) .....	32
Figura 3.13 – Aplicação de argamassa em tijolo furado corrente; a) Tijolo no interior do molde, definindo a espessura final da camada de argamassa; b) Colocação da peça de madeira de 75 cm definindo altura de queda; c) Aspecto final do provete .....	33
Figura 3.14 – Pormenores de duas misturas; a) Mistura com fibras de lã; b) Mistura com fibras vegetais. ....	34
Figura 3.15 – Aplicação em parede de taipa - Salpisco; a) Mistura depois da amassadura; b) Murete após aspersão; c) Aplicação do salpisco da CL3_10t(ArF)_0,5FAIã. ....	35
Figura 3.16 - Aplicação em parede de taipa – Camada de base; a) Aplicação da camada de base da CL3_10t (ArF)_0,5FAIã; b) Aplicação da camada de base da CL2_25t(L)_0,5FV; c) Aspecto final dos painéis rebocados. ....	35
Figura 3.17 – Sala climática; a) Condições do ambiente controlado; b) e c) Armazenamento e disposição dos provetes prismáticos. ....	36
Figura 3.18 – Aspersão do reboco do murete de taipa. ....	36

Figura 4.1 – Consistência por espalhamento; a) Material; b) Compactação com o pilão;	
c) Razagem do molde.....	39
Figura 4.2 – Consistência por espalhamento; a) Aspecto após o molde ser retirado;	
b) Aspecto após as 15 pancadas; c) Medição do diâmetro da argamassa.....	39
Figura 4.3 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a relação	
água/terra – Traço 1:2. ....	40
Figura 4.4 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a relação	
água/terra – Traço 1:3. ....	40
Figura 4.5 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a percentagem	
de massa de Fibra/massa de Cal – Traço 1:2.....	41
Figura 4.6- Comparação entre a consistência por espalhamento e a percentagem	
de massa de Fibra/massa de Cal – Traço 1:3.....	41
Figura 4.7 – Retenção de água; a) Razagem do molde; b) Colocação da gaze, dos	
papéis de filtro e da placa de vidro. ....	43
Figura 4.8 – Retenção de água; a) Inversão do conjunto; b) Remoção do peso e recolocação	
na posição inicial; c) Pesagem do conjunto de papéis de filtro. ....	43
Figura 4.9 – Retenção de água – Argamassas com base no traço 1:2. ....	44
Figura 4.10 - Retenção de água – Traço 1:3. ....	44
Figura 4.11 – Massa volúmica; a) Recipiente vazio; b) Recipiente cheio e rasado.....	45
Figura 4.12 – Massa volúmica – Argamassas com base no traço 1:2. ....	46
Figura 4.13 - Massa volúmica - Argamassas com base no traço 1:3. ....	46
Figura 4.14 – Teor de ar; a) Equipamento; b) Bombeamento de ar para o reservatório;	
c) Leitura do valor final. ....	47
Figura 4.15 – Teor de ar [%] – Argamassas com base no traço 1:2. ....	48
Figura 4.16 - Teor de ar [%] – Argamassas com base no traço 1:3. ....	48
Figura 4.17 – Sequência de ensaios após destruição dos provetes. ....	49
Figura 4.18 – Massa volúmica; a) Craveira digital; b) Medição da largura do provete, $a_1$ ;	
c) Pesagem do provete.....	50
Figura 4.19 - Massa Volúmica Aparente – Argamassas com base no traço 1:2. ....	51
Figura 4.20 – Massa Volúmica Aparente – Argamassas com base no traço 1:3. ....	51
Figura 4.21 – Condutibilidade térmica em provetes prismáticos; a) Equipamento devidamente	
montado; b) Resultado final; c) Pormenor da falta de área de contacto. ....	52
Figura 4.22 - Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) – Argamassas com base no traço 1:2. ....	53
Figura 4.23 - Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) – Argamassas com base no traço 1:3. ....	53
Figura 4.24 - Velocidade de propagação dos ultra-sons em provetes prismáticos;	
a) Calibração do equipamento; b) Aplicação do gel condutor; c) Valor final. ....	55
Figura 4.25 - Módulo de Elasticidade Dinâmico (pelos ultra-sons) [MPa] –	
Argamassas com base no traço 1:2. ....	55
Figura 4.26- Módulo de Elasticidade Dinâmico (pelos ultra-sons) [MPa] – Argamassas	
com base no traço 1:3. ....	56



Figura 4.27 - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes prismáticos – Argamassas com base no traço 1:2. ....	57
Figura 4.28 - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em prismáticos – Argamassas com base no traço 1:3. ....	57
Figura 4.29 – Módulo de Elasticidade Dinâmico; a) e b) Provete em posição de ensaiar; c) Programa de cálculo. ....	58
Figura 4.30 – Módulo de elasticidade dinâmico – Argamassas com base no traço 1:2. ....	59
Figura 4.31 - Módulo de elasticidade dinâmico – Argamassas com base no traço 1:3. ....	59
Figura 4.32 – Resistência à tracção; a) Equipamento <i>Zwick/Rowell</i> ; b) Correcto posicionamento do provete; c) Gráfico final com a força máxima ( $F_f$ ). ....	61
Figura 4.33 – Resistência à tracção por flexão – Argamassas com base no traço 1:2. ....	61
Figura 4.34 - Resistência à tracção por flexão – Argamassas com base no traço 1:3. ....	62
Figura 4.35 – Resistência à compressão; a) Colocação correcta do provete; b) Rotura do provete (fissuração); c) 3 pedaços de provete resultantes. ....	63
Figura 4.36 – Resistência à compressão – Argamassas com base no traço 1:2. ....	63
Figura 4.37 - Resistência à compressão – Argamassas com base no traço 1:3. ....	64
Figura 4.38 - Ensaio de absorção de água por capilaridade. a) Provete com película aderente e gaze; b) Caixa e tabuleiro com água; c) Vista geral do ensaio a decorrer; d) Pesagem de um provete. ....	66
Figura 4.39 – Início da curva de absorção de água (exemplo). ....	67
Figura 4.40 - Curvas de absorção capilar aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	68
Figura 4.41 - Curvas de absorção capilar aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3. ....	68
Figura 4.42 - Curvas de absorção capilar aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	69
Figura 4.43 - Curvas de absorção capilar aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	69
Figura 4.44 - Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	70
Figura 4.45 - Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3. ....	70
Figura 4.46 - Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	71
Figura 4.47 - Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:3. ....	71
Figura 4.48 – Ensaio de Secagem. ....	73
Figura 4.49 – Início da curva de secagem de água (exemplo). ....	73
Figura 4.50 – Curvas de secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	75
Figura 4.51 – Curvas de secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	75
Figura 4.52 – Taxa de secagem e índice de secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	76
Figura 4.53 - Taxa de secagem e índice de secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3. ....	76

Figura 4.54 – Porosidade aberta/Massa volúmica. a) Provetes no interior do exsiccador com bomba de vácuo em funcionamento; b) Provetes submersos no interior do exsiccador com bomba de vácuo em funcionamento; c) Provetes submersos no interior do exsiccador com bomba de vácuo desligada. ....	78
Figura 4.55 - Porosidade aberta/Massa volúmica. a) Balança + suporte imerso; b) Pesagem hidrostática; c) Pesagem normal. ....	79
Figura 4.56 – Massa volúmica e porosidade aberta aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	79
Figura 4.57 – Massa volúmica e porosidade aberta aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3. ....	80
Figura 4.58 - Massa volúmica e porosidade aberta aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2. ....	80
Figura 4.59 - Massa volúmica e porosidade aberta aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:3. ....	81
Figura 4.60 – Ensaio de Resistência aos Sulfatos. a) Preparação da solução; b) Recipiente de plástico; c) Provete devidamente submersos e afastados. ....	82
Figura 4.61 - Variação de massa dos provetes ao longo dos 25 ciclos de imersão/secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3.....	83
Figura 4.62 – Variação de massa dos provetes ao longo dos 25 ciclos de imersão/secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2.....	83
Figura 4.63 - Variação de massa dos provetes ao longo dos 25 ciclos de imersão/secagem aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:3.....	84
Figura 4.64 - Variação de massa dos provetes ao longo dos 25 ciclos de imersão/secagem aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2.....	84
Figura 4.65 – Variação de massa ao fim de 25 ciclos de ensaio de resistência aos sulfatos – Argamassas com base no traço 1:2. ....	85
Figura 4.66 - Variação de massa ao fim de 25 ciclos de ensaio de resistência aos sulfatos – Argamassas com base no traço 1:3. ....	85
Figura 4.67 – Aspecto de um provete de CL2_25t(L)_FAcrina ao fim do 3º ciclo – 90 dias. ....	86
Figura 4.68 – Ensaio de condutibilidade térmica de provetes em suporte de tijolo.....	87
Figura 4.69 - Condutibilidade térmica de provetes em suporte de tijolo – Argamassas com base no traço 1:2. ....	87
Figura 4.70 - Condutibilidade térmica de provetes em suporte de tijolo – Argamassas com base no traço 1:3. ....	88
Figura 4.71 – a) e b) Durómetro; c) Medição da dureza superficial.....	88
Figura 4.72 – Dureza superficial por durómetro Shore A – Argamassas com base no traço 1:2.....	89
Figura 4.73 - Dureza superficial por durómetro Shore A – Argamassas com base no traço 1:3. ....	89
Figura 4.74 - Velocidade de propagação dos ultra-sons em provetes em suporte de tijolo; a) Folha para marcação de pontos; b) Equipamento; c) Realização do ensaio. ....	90

Figura 4.75 – Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em suporte de tijolo – Argamassas com base no traço 1:2. ....	91
Figura 4.76 - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em suporte de tijolo – Argamassas com base no traço 1:3. ....	91
Figura 4.77 – Absorção de água sob baixa pressão; a) Tubo de Karsten; b) Visão global do ensaio a decorrer; c) Reenchimento de um tubo. ....	93
Figura 4.78 – Absorção de água sob baixa pressão; a) Queda prematura de um tubo por falta de aderência; b) Provetes com capacidade de absorção diferentes; c) Estragos no provete (lã) após retirado o tubo. ....	93
Figura 4.79 – Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:3 – 28 dias. ..	94
Figura 4.80 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:3 – 90 dias. ...	94
Figura 4.81 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:3 – 180 dias. .	95
Figura 4.82 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:2 – 28 dias. ...	95
Figura 4.83 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:2 – 90 dias. ...	96
Figura 4.84 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:2 – 180 dias. .	96
Figura 4.85 - Tempo para absorver 4 ml [s] – Argamassas com base no traço 1:2. ....	97
Figura 4.86 - Tempo para absorver 4 ml [s] – Argamassas com base no traço 1:3. ....	97
Figura 4.87 – Temperaturas superficiais do murete medidas às 16h (média 26,5°C).....	98
Figura 4.88 – Murete de Taipa. a) Antes da aplicação do reboco; b) Depois da aplicação do reboco. ....	99
Figura 4.89 – Pormenor da fixação de um tubo de Karsten. ....	99
Figura 4.90 - Disposição dos tubos de Karsten no murete de taipa. ....	99
Figura 4.91 - Quantidade de água absorvida [ml] – Murete de taipa.....	100
Figura 4.92 – Tempo para absorver 4 ml – Murete de Taipa.....	100
Figura 4.93 - Esclerómetro pendular. ....	101
Figura 4.94 – Dureza superficial do murete com esclerómetro pendular [graus Vickers]. ....	102
Figura 4.95 – Zona sul e superior do murete destruída. ....	102
Figura 4.96 - Dureza superficial do murete com durómetro [graus Shore A]. ....	103
Figura 4.97 – Ensaio de condutibilidade térmica no murete de taipa. a) Furação dos pontos; b) Disposição do equipamento; c) Pormenor da sonda em funcionamento. ....	104
Figura 4.98 – Condutibilidade térmica do murete de taipa ( $\lambda$ ). ....	104
Figura 4.99 – Esquema da distribuição de rebocos pelo murete de taipa. ....	104
Figura 4.100 – Dureza Superficial (durómetro) - Reboco – 28 dias. ....	105
Figura 4.101 - Dureza Superficial (esclerómetro pendular) - Reboco – 28 dias.....	105
Figura 4.102 – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão no reboco de argamassa do murete de taipa aos 28 dias. a) Nível superior; b) Pormenor; c) Nível inferior. ....	106
Figura 4.103 - Quantidade de água absorvida [ml] – Rebocos – 28 dias. ....	107
Figura 4.104 - Tempo para absorver 4 ml [s] – Rebocos – 28 dias. ....	107
Figura 5.1 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a retenção de água – Traço 1:2.....	113

Figura 5.2 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a retenção de água – Traço 1:3.....	113
Figura 5.3 - Comparação entre o teor de ar e a massa volúmica em estado fresco – Traço 1:2.....	114
Figura 5.4 - Comparação entre o teor de ar e a massa volúmica em estado fresco – Traço 1:3.....	114
Figura 5.5 - Condutibilidade térmica de provetes prismáticos e provetes em suporte de tijolo aos 180 dias – Traço 1:2.....	115
Figura 5.6 - Condutibilidade térmica de provetes prismáticos e provetes em suporte de tijolo aos 180 dias – Traço 1:3.....	115
Figura 5.7 - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 180 dias – Traço 1:2.....	116
Figura 5.8 - - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 180 dias – Traço 1:3.....	117
Figura 5.9 – Condutibilidade térmica <i>versus</i> velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes prismáticos aos 180 dias – Traço 1:2.....	118
Figura 5.10 - Condutibilidade térmica <i>versus</i> velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes prismáticos aos 180 dias – Traço 1:3.....	118
Figura 5.11 - Condutibilidade térmica <i>versus</i> velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes em suporte tijolo aos 90 dias – Traço 1:2.....	119
Figura 5.12 - Condutibilidade térmica <i>versus</i> velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes em suporte tijolo aos 90 dias – Traço 1:3.....	119
Figura 5.13 - Condutibilidade térmica <i>versus</i> porosidade aberta em provetes prismáticos aos 180 dias – Traço 1:2.....	120
Figura 5.14 - Condutibilidade térmica <i>versus</i> porosidade aberta em provetes prismáticos aos 180 dias – Traço 1:2.....	120
Figura 5.15 – Comparação entre o coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 90 dias – Traço 1:2.....	121
Figura 5.16 - Comparação entre o coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 90 dias – Traço 1:3.....	121
Figura 5.17 - Comparação entre o coeficiente de capilaridade e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:2.....	122
Figura 5.18 - Comparação entre o coeficiente de capilaridade e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:3.....	122
Figura 5.19 - Comparação entre a taxa de secagem e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:2.....	123
Figura 5.20 - Comparação entre a taxa de secagem e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:3.....	123
Figura 5.21 - Comparação entre o valor assintótico e o índice de secagem aos 90 dias – Traço 1:2.....	124
Figura 5.22 - Comparação entre o valor assintótico e o índice de secagem aos 90 dias – Traço 1:3.....	124

Figura 5.23 - Comparação entre o valor assintótico e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:2.....	125
Figura 5.24 - Comparação entre o valor assintótico e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:3.....	126
Figura 5.25 - Comparação entre o Índice de secagem e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:2.....	126
Figura 5.26 - Comparação entre o Índice de secagem e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:3.....	127
Figura 5.27 - Comparação entre as resistências à compressão e tração e módulo de elasticidade dinâmico aos 180 dias – Traço 1:2.....	128
Figura 5.28 – Comparação entre as resistências à compressão e tração e módulo de elasticidade dinâmico aos 180 dias – Traço 1:3.....	128
Figura 5.29 – Comparação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente entre a resistência à tração e à compressão aos 180 dias – Traço 1:2.....	130
Figura 5.30 - Comparação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente entre a resistência à tração e à compressão aos 180 dias – Traço 1:3.....	130
Figura 5.31 - Comparação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente entre o módulo de elasticidade e a resistência à tração aos 180 dias – Traço 1:2.....	131
Figura 5.32 - Comparação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente entre o módulo de elasticidade e a resistência à tração aos 180 dias – Traço 1:3.....	131
Figura 5.33 - Comparação entre a resistência à compressão e a porosidade aberta aos 180 dias – Traço 1:2.....	132
Figura 5.34 - Comparação entre a resistência à compressão e a porosidade aberta aos 180 dias – Traço 1:3.....	132
Figura 5.35 - Comparação entre a resistência à compressão e a massa volúmica aos 180 dias – Traço 1:2.....	133
Figura 5.36 - Comparação entre a resistência à compressão e a massa volúmica aos 180 dias – Traço 1:3.....	133
Figura 5.37 – Comparação da dureza superficial (durómetro Shore A) das argamassas aplicadas em suporte tijolo e em reboco no murete de taipa aos 28 dias.....	134
Figura 5.38 - Comparação do tempo necessário para absorver 4 ml das argamassas aplicadas sobre tijolo e no reboco do murete de taipa aos 28 dias.....	134
Figura 5.39 - Comparação da quantidade de água absorvida pelas argamassas aplicadas sobre tijolo e no reboco do murete de taipa aos 28 dias.....	135



## Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Requisitos estabelecidos para as características, aos 90 dias, das argamassas de revestimento para edifícios antigos (Veiga <i>et al.</i> 2010).....	17
Tabela 2.2 - Classificação para as propriedades de argamassas no estado endurecido EN 998-1 (CEN 2010) .....	17
Tabela 3.1 - Composição química da cal aérea (Gameiro <i>et al.</i> 2014). ....	21
Tabela 3.2 – Baridades das três areias e da mistura de areias.....	23
Tabela 3.3 – Proporções volumétricos das areias nas diferentes argamassas.....	24
Tabela 3.4 – Composição mineralógica da terra por análise de XRD (Gomes <i>et al.</i> 2012a) .....	24
Tabela 3.5 – Dosagens dos constituintes das argamassas com base no traço 1:2, relação água/cal+argila e água/argila e percentagem mássica de fibra em função da cal. ....	27
Tabela 3.6 - Dosagens dos constituintes das argamassas com base no traço 1:3, relação água/cal+terra e água/terra e percentagem mássica de fibra em função da cal. ....	27
Tabela 3.7 – Traços em massa das argamassas com base no traço 1:2. ....	28
Tabela 3.8 - Traços em massa das argamassas com base no traço 1:3. ....	28
Tabela 3.9 - Caracterização do tijolo furado (Dias 2013).....	32
Tabela 3.11 - Condições ambientais médias de temperatura e humidade relativa. ....	36
Tabela 4.1 – Ensaio realizados às argamassas em estado fresco. ....	37
Tabela 4.2 – Ensaio realizados em estado endurecido nos provetes de argamassa prismáticos e suporte tijolo.....	37
Tabela 4.3 - Ensaio de caracterização e ao reboco em estado endurecido no murete de taipa. ....	38
Tabela 4.4 – Idades a que foram realizados os ensaios em provetes prismáticos. ....	49
Tabela 4.5 – Distância entre os 6 pontos (de “A” a “F”). ....	90
Tabela 4.6 – Resultados da dureza superficial [graus Shore A]. ....	105
Tabela 4.7 - Resultados da dureza superficial [graus Vickers].....	106
Tabela 5.1 – Resumo dos resultados em estado fresco e em estado endurecido aos 28 dias. ....	110
Tabela 5.2 - Resumo dos resultados dos provetes de argamassa em estado endurecido aos 90 dias. ....	111
Tabela 5.3 - Resumo dos resultados dos provetes de argamassa em estado endurecido aos 180 dias. ....	112
Tabela 5.4 – Avaliação das propriedades mecânicas das argamassas aos 90 dias segundo a Tabela 2.1 (Veiga <i>et al.</i> 210). ....	136
Tabela 5.5 – Resumo da avaliação das argamassas em estado fresco e em estado endurecido aos 28 dias de cura. ....	138
Tabela 5.6 - Resumo da avaliação das argamassas em estado endurecido aos 90 dias.....	139
Tabela 5.7 - Resumo da avaliação das argamassas em estado endurecido aos 180 dias.....	140
Tabela 5.8 – Legenda explicativa da avaliação de resultados.....	141
Tabela 5.9 – Avaliação qualitativa do comportamento das argamassas.....	141





# Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

- **Abreviaturas**

**APCMC** – Associação Portuguesa dos Comerciantes de Materiais de Construção

**AICCOPN** – Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas

**CEN** – Comité Européen de Normalisation

**DEC** – Departamento de Engenharia Civil

**EN** – European Norm

**FCT UNL** – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

**IPQ** – Instituto Português da Qualidade

**LNEC** – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**LIMECONTECH** – Projecto LIMECONTECH financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia

**METACAL** – Projecto METACAL financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia

**NP** – Norma Portuguesa

- **Ensaaios e determinações**

**C<sub>abs.T</sub>** – Coeficiente de absorção total (1 hora)

**C<sub>abs.4ml</sub>** – Coeficiente de absorção inicial (de 4 ml de água)

**C<sub>abs.5</sub>** – Coeficiente de absorção aos 5 minutos

**CC** – Coeficiente de Capilaridade

**DS<sub>D</sub>** – Dureza superficial utilizando um durómetro Shore A

**DS<sub>E</sub>** – Dureza superficial utilizando um esclerómetro pendular

**DP** – Desvio Padrão

**DRX** – Difracção de Raios X

**Ed** – Módulo de elasticidade dinâmico

**Esp** – Consistência por espalhamento

**IS** – Índice de Secagem

**P<sub>ab</sub>** – Porosidade aberta

**Qt<sub>abs.30</sub>** – Quantidade de água absorvida em 30 minutos

**Qt<sub>abs.1h</sub>** – Quantidade total de água absorvida (em 1 hora)

**Tempo<sub>4ml</sub>** – Tempo necessário para absorver 4 ml de água

**R<sub>et</sub>** – Retenção de água

**R<sub>c</sub>** – Resistência à compressão

**R<sub>t</sub>** – Resistência à tração (por flexão)

**TG-DTG** – Análise Termogravimétrica e Análise Termogravimétrica Diferencial

**TS** – Taxa de Secagem

**VA** – Valor Assintótico (absorção capilar)

**V<sub>us</sub>** – Velocidade de propagação de ultra-sons

**W<sub>t</sub>** – Teor de água

**Δm 25c** – Variação de massa ao fim de 25 ciclos de imersão/secagem, em solução com sulfatos

$\lambda$  – Condutibilidade térmica.

- **Argamassas:**

**CL2:** Argamassa de cal aérea (ao traço volumétrico 1:2) padrão, ou seja, sem qualquer terra;

**CL2\_25t(L):** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) de referência com terra, com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea;

**CL2\_25t(L)\_0,5FV:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 9% de fibras vegetais (casca de arroz) face à massa de cal aérea;

**CL2\_25t(L)\_FV:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 18% de fibras vegetais (casca de arroz) face à massa de cal aérea;

**CL2\_25t(L)\_0,5FA<sub>crina</sub>:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 5% de fibras animais (crina de cavalo) face à massa de cal aérea;

**CL2\_25t(L)\_FA<sub>crina</sub>:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 10% de fibras animais (crina de cavalo) face à massa de cal aérea;

**CL2\_25t(L)\_0,5FA<sub>Lã</sub>:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 2% de fibras animais (lã de ovelha) face à massa de cal aérea;

**CL2\_25t(L)\_FA<sub>Lã</sub>:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 4% de fibras animais (lã de ovelha) face à massa de cal aérea;

**CL3:** Argamassa de cal aérea (ao traço volumétrico 1:3) padrão, ou seja, sem qualquer terra;

**CL3\_10t(ArF):** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) de referência com terra, com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina;

**CL3\_10t(ArF)\_0,5FV:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 10% de fibras vegetais (casca de arroz) face à massa de cal aérea;

**CL3\_10t(ArF)\_FV:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 21% de fibras vegetais (casca de arroz) face à massa de cal aérea;

**CL3\_10t(ArF)\_0,5FA<sub>crina</sub>:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 6% de fibras animais (crina de cavalo) face à massa de cal aérea;

**CL3\_10t(ArF)\_FA<sub>crina</sub>**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 11% de fibras animais (crina de cavalo) face à massa de cal aérea;

**CL3\_10t(ArF)\_0,5FA<sub>Lã</sub>**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 2% de fibras animais (lã de ovelha) face à massa de cal aérea;

**CL3\_10t(ArF)\_FA<sub>Lã</sub>**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 4% de fibras animais (lã de ovelha) face à massa de cal aérea.



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento do tema

A conjuntura de crise económica existente actualmente tem vindo a acentuar-se desde o início do milénio, nomeadamente devido à grande quebra do sector da construção, com o consumo de cimento em Portugal, em 2012, a baixar e atingir níveis de há 40 anos atrás (década de 70 do século passado). No entanto, este decréscimo da construção, associada a uma maior sensibilização da comunidade para a protecção do meio ambiente, criaram novas oportunidades de mercado, quer para a reabilitação de edifícios, quer para a construção nova de edifícios mais económicos, mas igualmente duráveis e sustentáveis. A reabilitação de um edifício deve ser considerada como o conjunto de operações destinado a aumentar os níveis de qualidade de um edifício, por forma a atingir a conformidade com exigências funcionais mais severas do que aquelas para as quais o edifício foi concebido (Henriques 1991). Em consequência, cada vez mais estudos têm sido feitos na procura de assegurar a correcta reabilitação do edificado, garantindo uma compatibilidade física, mecânica e química entre as argamassas de reabilitação e os materiais existentes, bem como a sua reintegração reversível e facilmente reconhecível (Marques *et al.* 2006). Se os edifícios a reabilitar se tratarem de edifícios históricos, na maioria dos casos, por razões de compatibilidade, as argamassas recomendadas para realizar a sua intervenção são as que têm como ligante a cal aérea (Veiga *et al.* 2010).

A utilização da terra, que foi um dos primeiros materiais de construção a ser utilizado pelo Homem, perdeu expressão com o passar dos anos devido ao aparecimento de materiais de construção mais modernos e resistentes. Em Portugal, as técnicas de construção de paredes com terra mais executadas são a taipa, o adobe (blocos de terra moldados e secos sem cozedura) e o tabique. Segundo dados estatísticos, actualmente um terço da população mundial vive em edifícios de terra, desde modestas casas a palácios, muito embora 50% dessa população pertença a países em desenvolvimento. Contudo, fazendo uma análise no distrito de Aveiro (distrito com maior expressão de construções em terra em Portugal) verifica-se que 40% dos edifícios existentes são em taipa (Silveira *et al.* 2012). Quanto ao seu revestimento, é muito comum encontrarem-se actualmente edifícios de taipa reabilitados com argamassas de uso corrente (base em cimento) na tentativa de colmatar lacunas decorrentes da degradação. No entanto, estas intervenções apenas levam ao agravamento dos problemas existentes ou ao aparecimento de outros.

*“O desenvolvimento de estudos sobre argamassas de terra é, assim, um caminho interessante que poderá vir a permitir ultrapassar os actuais problemas. Permitirá a utilização de materiais sustentáveis e similares aos ancestrais, portanto com boa compatibilidade com as construções a reparar, com a vantagem de possuírem comportamento e durabilidade conhecidos e comprovados”* (Gomes *et al.* 2012a).

Tendo-se em consideração algumas vantagens, como, por exemplo, o bom comportamento térmico, acústico e higroscópico, e a crescente procura de alguns arquitectos pela terra como material de construção, graças à sua sustentabilidade, aspecto estético e vantagens técnicas ao nível do conforto, pode-se concluir que a utilização da terra na construção está novamente a crescer. Porém, com a modernização das edificações, também as exigências de quem as habita aumentaram. Por exemplo no caso das argamassas de reboco, a adição de fibras naturais pode constituir uma boa solução que não compromete a sustentabilidade da construção. A utilização de fibras naturais na construção é bastante atractiva por quatro razões: as suas propriedades específicas, o seu preço, o conforto que proporciona e sua reciclabilidade. Além disso, as fibras são renováveis e têm um ciclo de vida neutro em CO<sub>2</sub>, ao contrário das fibras sintéticas (Di Bella *et al* 2014). Alguns trabalhos de pesquisa já mostraram que a adição de fibras naturais (cânhamo, coco, sisal) reduz fortemente a retracção higrométrica e, conseqüentemente, a fissuração que lhe está associada (Cai *et al.* 2006; Ghavami *et al.* 1999; Gomes *et al.* 2012c).

Desta forma, pode-se dizer que o interesse por materiais que permitam construções menos consumidoras de recursos mas, ao mesmo tempo, confortáveis e seguras, tem vindo a aumentar, o que motivou o estudo realizado na presente dissertação, no sentido de ampliar o conhecimento sobre a utilização de argamassas de cal aérea com a introdução de terra argilosa e fibras naturais. Estas argamassas apresentam vantagens económicas e ambientais, pelo facto de usarem: menores teores de ligante produzido especificamente, substituindo-o parcialmente por terra argilosa; ou menores teores de areia fina explorada e transportada especificamente, substituindo-a parcialmente pela terra argilosa; ou traços mais fracos em ligante, adicionando complementarmente terra argilosa; ou ainda a adição de fibras que sejam resíduos agro-industriais (Faria 2013). Concretamente procura-se perceber quais as características destes tipos de argamassas, qual a sua compatibilidade com suportes e como variam as suas características ao longo do tempo, de modo a avaliar a possibilidade da sua utilização na construção, particularmente como argamassas de reabilitação de edifícios históricos ou construídos com terra.

## **1.2. Objectivos e metodologia**

O principal objectivo deste trabalho é avaliar as características e o comportamento de argamassas mistas de cal aérea com terra argilosa e fibras naturais individualmente e quando aplicadas em dois suportes diferentes (tijolo e taipa) em condições de cura definidas (controladas em laboratório e em exposição natural) e ao longo do tempo. Para tal reproduziram-se argamassas com bons resultados de trabalhos antecessores, nomeadamente de Dias (2013) e de Jamú (2013), com o intuito de funcionarem como argamassas de referência relativamente às que tinham fibras na sua constituição. As argamassas reproduzidas de Dias (2013) foram a argamassa de cal aérea ao traço volumétrico 1:3 e uma argamassa de cal aérea que parte do mesmo traço volumétrico 1:3, mas à qual 10% de massa de terra foi introduzida em substituição de igual parcela de areia fina. As argamassas reproduzidas de Jamú (2013) foram a argamassa de cal aérea ao traço volumétrico 1:2 e uma argamassa de cal aérea partindo do mesmo traço volumétrico 1:2, mas em que 25% de massa de terra foi introduzida em

substituição de igual parcela de cal aérea. Nas argamassas com terra descritas anteriormente foram introduzidos três tipos de fibras em duas dosagens diferentes, nomeadamente casca de arroz, crina de cavalo cortada e *blouces* ou resíduo de lã de ovelha, constituído por fibras curtas com pelo morto. Apesar do grande objectivo ser avaliar a influência da adição de fibras naturais, as duas argamassas padrão de cal e areia com os referidos traços volumétricos 1:2 e 1:3 permitem também, paralelamente, avaliar a influência apenas da terra. A mistura de areias foi igual à que foi utilizada na FCT UNL em investigação no âmbito dos projectos, financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, LIMECONTECH, METACAL e “Incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de reabilitação”. Esta investigação insere-se no âmbito deste último projecto, para comparação com a caracterização de argamassas mistas mas de cal aérea e resíduos cerâmicos (constituídos por material argiloso mas cozido).

A caracterização laboratorial de todas as argamassas foi realizada no estado fresco, a partir de provetes prismáticos (16x4x4 cm) e em camada de argamassa aplicada em suporte de tijolo furado, aos 28, 90 e 180 dias de cura em ambiente controlado. Posteriormente foi rebocado um murete de taipa exposto a Poente na Estação de Exposição Natural de Revestimentos do DEC da FCT UNL, em exposição natural em ambiente exterior não controlado, com painéis de quatro argamassas (duas contendo fibras vegetais e duas contendo lã de ovelha). A sua caracterização foi realizada ao fim de 28 dias.

### 1.3. Plano e estrutura da dissertação

A primeira fase da presente dissertação consistiu na realização de uma pesquisa bibliográfica em torno do tema, nomeadamente sobre argamassas de terra, argamassas de cal, influência de fibras, ensaios de caracterização e construções em terra. De seguida definiram-se os tipos de fibras e as quantidades a introduzir nas argamassas, os ensaios a realizar e a que idades, o tipo de cura a sujeitar às argamassas e a calendarização da longa campanha experimental. Simultaneamente à realização da campanha experimental, os dados obtidos iam sendo tratados em *Microsoft Excel*, pois o elevado número de provetes resultou num vasto número de resultados.

Terminada a campanha experimental, deu-se início ao processo de escrita da dissertação onde se optou pela divisão em seis grandes capítulos, acrescidos da bibliografia e anexos. Começando pela introdução, seguida pelo estado do conhecimento, uma explicação dos constituintes, argamassas e provetes em estudo, uma descrição dos ensaios realizados e a apresentação dos respectivos resultados e finalizando com a discussão dos resultados mais relevantes e as conclusões finais.

No primeiro capítulo faz-se uma introdução da dissertação, tentando fazer um enquadramento do tema e uma explicitação das motivações e objectivos do estudo desenvolvido.

O segundo capítulo apresenta o estado dos conhecimentos mais úteis e directamente relacionados com o tema, englobando toda a informação obtida na pesquisa bibliográfica e durante a realização do

curso. O início deste capítulo mostra o estado actual da construção em Portugal e de seguida estão abrangidos conceitos sobre as matérias-primas utilizadas e argamassas tradicionais e as suas exigências.

No terceiro capítulo são descritos e caracterizados os constituintes das argamassas desenvolvidas e são relatados os processos de produção, preparação e cura dos provetes de argamassa.

O quarto capítulo corresponde ao maior capítulo da presente dissertação, uma vez que junta a descrição de todos os ensaios realizados durante a campanha experimental e a apresentação e análise dos respectivos resultados.

Uma vez conhecidos todos os resultados, no capítulo cinco estes são relacionados entre si e confrontados e comparados com resultados obtidos em estudos anteriores.

Por último, no sexto capítulo são apresentadas as conclusões, é realizada uma síntese dos aspectos mais relevantes do trabalho e são ainda propostos estudos de desenvolvimento futuros que permitam desenvolver o conhecimento sobre o tema.

A presente dissertação termina com a bibliográfica consultada e os anexos onde se encontram as tabelas que contêm todos os dados recolhidos e os resultados obtidos em cada ensaio, necessários para a execução dos gráficos e tabelas que se apresentam ao longo do trabalho.



## 2. Estado do conhecimento

### 2.1. Conjuntura actual da construção em Portugal: construção nova e reabilitação

A crise financeira em alguns países da Europa começou em 2009 e apenas em 2013 começou a apresentar alguns sinais, tímidos, de retoma, ainda que com uma contracção significativa (INCI 2013). Primeiro foi a Grécia com um grave problema de contas públicas; seguiu-se a Irlanda com uma situação complicada no sistema bancário e por último foi Portugal devido à falta de capacidade para promover o crescimento económico. Esse facto contribuiu para despoletar a pior crise de que há registo no sector da construção em Portugal, que se traduziu, até 2013, num período de doze anos consecutivos de perda de produção, com uma quebra real e acumulada de 54% da sua produção (JN 2014). Esta página negra na história da construção obrigou a uma reestruturação do sector, muito à custa da insolvência de milhares de empresas, sendo que só nos últimos dois anos (2012 e 2013) encerraram vinte mil empresas da área da construção, segundo os dados da AICCOPN. Como é possível ver na Figura 2.1, o número de edifícios licenciados também tem vindo a diminuir desde 2010.

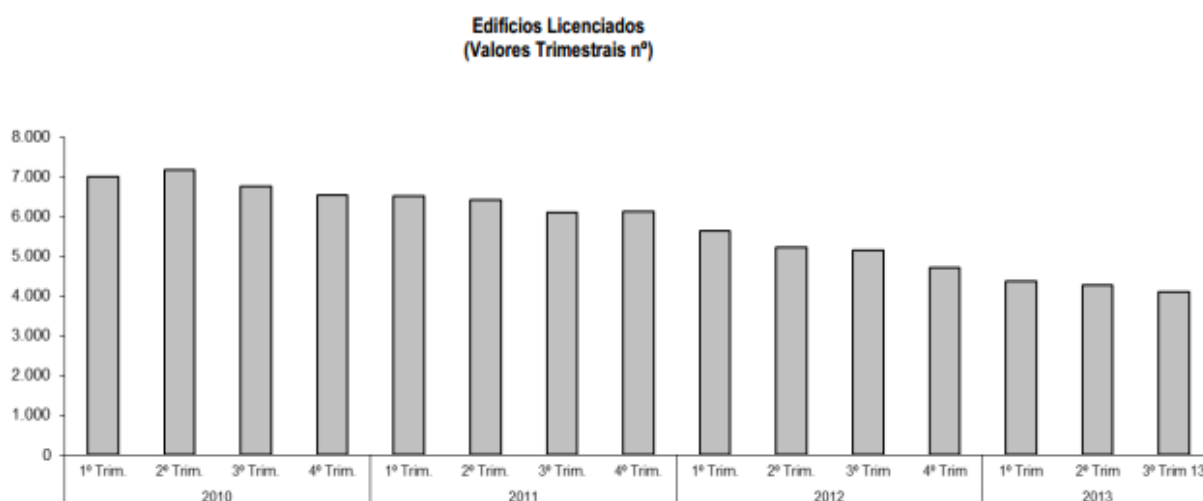


Figura 2.1 – Número de edifícios licenciados desde 2010 (APCMC 2013).

Pelo contrário, na última década a reabilitação de edifícios ganhou alguma expressão em Portugal e entre 2001 e 2011 registou-se uma diminuição de 36,0% no número de edifícios muito degradados e de 40,4% no número de edifícios com necessidade de grandes reparações, evidenciando uma redução do edificado em mau estado de conservação (INE 2013). Ainda assim, a cultura da reabilitação ainda não está bem enraizada em Portugal. Segundo os dados do INE de 2013, nesse ano, as obras de reabilitação diminuíram relativamente a anos anteriores, apesar de, como se pode confirmar pela Figura 2.2, muitos edifícios de habitação familiar apresentam necessidade de reparação, de acordo com os censos 2011.

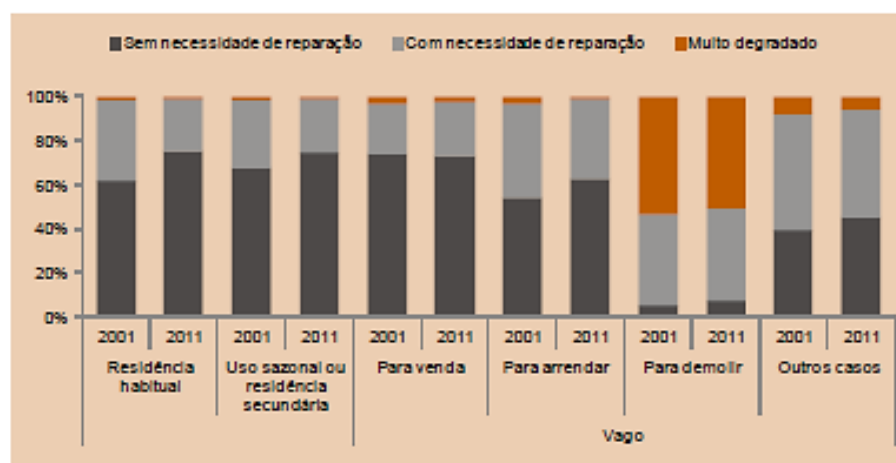


Figura 2.2 - Proporção de alojamentos familiares por estado de conservação e forma de ocupação (INE 2013)

Tendo em conta que a taxa de crescimento da população tem vindo a diminuir, o excesso de investimento em construção nova continuará a ter efeitos muito negativos mesmo ao fim de alguns anos. Por outro lado, e impulsionada pelo crescimento da economia, a estratégia de estabilização do sector da construção deve passar pela reabilitação do parque habitacional existente, pela conservação de edifícios históricos e por reduzidos níveis de construção nova, mas mais sustentável e menos prejudicial para o meio ambiente. É da responsabilidade de todos os intervenientes tentar aumentar a sustentabilidade das novas construções, utilizando materiais mais eficientes e menos consumidores de energia, reduzindo consumos de água e electricidade durante as obras, reciclando resíduos de construção e demolição, e minimizando, desta forma, a pegada ecológica através da preservação dos recursos naturais (água, ar e solo).

O regresso de técnicas e materiais tradicionais, como por exemplo o uso da cal aérea, tem-se revelado o caminho a seguir para a reabilitação do edificado corrente e na conservação do património histórico, de forma a garantir a sua autenticidade (histórica e estética), compatibilidade (química, física e mecânica), durabilidade e reversibilidade das intervenções feitas. Esta questão da reversibilidade - possibilidade de um dado material ou solução construtiva poderem ser removidos no final da sua vida útil sem causar danos aos restantes materiais que com eles contactem (Henriques 1991) – não é de menor importância actualmente.

## 2.2. Matérias-primas

### 2.2.1. A cal aérea

A cal aérea terá sido um dos materiais mais antigos utilizados na construção. No entanto a descoberta do cimento e o seu uso intensivo a partir do século XX, veio substituir, em grande parte, o uso da cal. A recente tendência de substituir a cal pelo cimento Portland, em intervenções em edifícios antigos, tem sido a causa de muitas anomalias devido à sua incompatibilidade com suportes antigos. A importância da utilização de argamassas compatíveis e de preservar a riqueza e diversidade de fa-

chadas levou à necessidade de se estudar as técnicas tradicionais, uma vez que o conhecimento de muitas delas está a ser progressivamente perdido com a introdução de novos materiais (Margalha *et al.* 2011).

A cal aérea pode ser de origem cálcica (CL) ou dolomítica (DL), sendo que a utilizada no presente trabalho foi uma cal cálcica. Esta resulta da cozedura de calcários com elevado grau de pureza e a temperatura de cozedura da rocha cálcica pode variar entre os 800°C a 1000°C, situando-se, normalmente, nos 900°C. O produto obtido pela cozedura dos calcários designa-se por cal viva, é constituído na grande maioria por óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), e é um produto muito instável cujo armazenamento implica grandes cuidados de forma a garantir a sua qualidade (Margalha 2011).

Como tal, tradicionalmente, procede-se à hidratação (ou extinção) da cal viva, por reacção do óxido de cálcio com a água, resultando a cal hidratada (ou apagada ou extinta), maioritariamente constituída por hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). A extinção da cal viva pode desenvolver-se por aspersão com água ou imersão, resultando em cal apagada em pó ou em pasta, respectivamente (Margalha 2011). Uma vez que o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) é solúvel na água e necessita de contactar com o dióxido de carbono para reagir, esta cal é incapaz de ganhar presa ou endurecer quando submersa, e daí a cal aérea como único ligante não poder ser usada em obras hidráulicas ou marítimas (Faria *et al* 2008).

Após aplicação, o endurecimento da cal aérea acontece através da libertação de água seguida da reacção lenta com o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera, transformando-se de novo em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), processo ao qual se dá o nome de carbonatação. A este processo está associado um aumento da massa da cal hidratada ( $\approx 35\%$ ), um aumento de volume dos sólidos ( $\approx 12\%$ ) e uma diminuição da porosidade ( $\approx 7\%$ ) (Moorehead 1986). A velocidade de penetração da carbonatação numa argamassa é condicionada pelo seu teor em água, quantidade de cal hidratada, permeabilidade ao vapor, temperatura, concentração de  $\text{CO}_2$ , espessura da argamassa e humidade relativa do ambiente. Esta velocidade é optimizada com a presença de água nos poros mais finos e capilares, pela disponibilidade dos poros maiores para a presença do  $\text{CO}_2$  e pela concentração de  $\text{CO}_2$  no ambiente envolvente. No entanto, o que se verifica na realidade é que o processo de carbonatação é muito lento, podendo mesmo ficar incompleto nalguns elementos construtivos durante muitos anos após o seu período de construção (Faria-Rodrigues 2004).

### **2.2.2. A Terra como material de construção**

A terra é o material de construção mais antigo da humanidade e a sua utilização remonta a milhares de anos antes de Cristo, existindo evidências arqueológicas com mais de 10 mil anos (Bruno *et al* 2010). Foi no Médio Oriente que nasceram as primeiras civilizações com arquitectura erguida com a terra local, e algumas delas sobrevivem até aos dias de hoje, como a cidade de Jericó na Cisjordânia e Zigurates na Mesopotâmia (totalmente construídas com adobes - tijolos secos ao sol). Todas as grandes civilizações do Médio Oriente usaram o adobe e a taipa na construção, tanto para construir

as suas habitações, como fortalezas militares e edifícios com significado religioso (Torgal *et al* 2009; Ponte 2012).

Em Portugal, e mais recentemente, a terra como material de construção surgiu na época dos Fenícios a partir do séc. VIII a.C. e a execução de paredes em taipa, adobe e tabique alcançaram uma distribuição generalizada. Anteriormente à entrada deste povo a terra era maioritariamente utilizada como argamassa de revestimento (Abraúl 2010; Ponte 2012).

Com o surgimento da indústria do cimento no século XX, toda a construção em terra foi caindo em desuso e perdeu interesse por parte do sector da construção. Nos dias que correm, a falta de confiança na terra ainda é evidente por uma larga percentagem dos técnicos envolvidos na construção, muitas vezes por desconhecimento das tecnologias possíveis, sendo por vezes esta ainda vista como um material frágil e pouco durável, da qual apenas poderão resultar edifícios toscos e de fraca qualidade. Contudo, a sua durabilidade pode ser comprovada pela passagem dos séculos, através de exemplos como é o da cidade de Shibam no Iémen construída no Séc. XVI, que superou as chuvas, ventos e sismos, resistindo até aos dias de hoje. Da mesma forma em Portugal, muitos monumentos nacionais e construção vernacular construídos com a terra como material de construção mantêm-se em uso há séculos.

No entanto, o recurso a matérias-primas naturais abundantes, como a terra, preenche os requisitos de sustentabilidade, e, como tal, a sua procura tem vindo a aumentar, não só na reabilitação e conservação de construções antigas, como também para a construção nova. Apesar de ser um recurso não renovável, os produtos secos ao sol podem ser naturalmente devolvidos à terra, num processo semelhante ao que lhe deu origem, completando um ciclo natural (Figura 2.3).

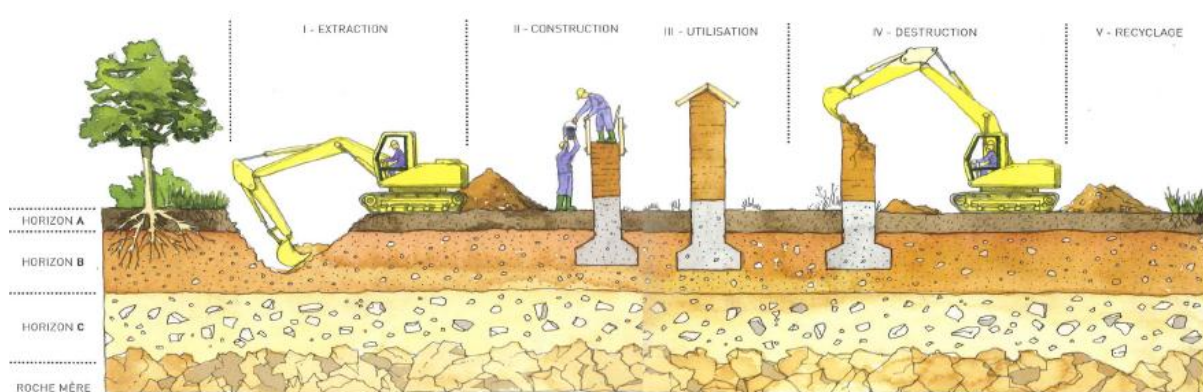


Figura 2.3 – Ciclo natural da construção e os vários horizontes do solo (Ponte 2012)

A constituição da terra tem por base elementos minerais cujas características dependem da composição química e mineralógica da sua rocha de origem. No entanto nem toda a matéria que constitui o solo é adaptada à construção. Como se pode observar na Figura 2.3 o extracto de terra ideal para a agricultura, devido à forte presença de húmus, é o horizonte A. O horizonte B, comumente chamado

de subsolo, é caracterizado por minerais com grande dureza e estabilidade e, como tal, é onde se encontra a terra ideal para a construção. Para além disso, a terra deve ser rica em argila de modo a ser plástica no estado fresco e sólida quando seca, mas nunca em quantidades tão excessivas que promovam muita retracção.

A terra como material de construção possui diversas vantagens, designadamente (Faria-Rodrigues 2007; Ponte 2012):

- a sua abundância por todo o mundo;
- a sua utilização não carecer de processos de transformação dispendiosos, nomeadamente energéticos;
- não necessitar de grandes distâncias de transporte entre o local de extracção e a aplicação em obra;
- apresentar bom comportamento térmico e acústico;
- ter óptimo conforto higrométrico; a sua elevada higroscopicidade permite absorver e libertar vapor de água, equilibrando a humidade relativa dos ambientes interiores;
- ser reciclável e reutilizável, incombustível e não tóxica;
- a terra escavada na execução de fundações poder ser reaproveitada como material de construção (blocos, rebocos ou argamassas);
- a terra utilizada na construção ser proveniente de terrenos menos férteis, e como tal não se retira recursos ao solo em termos agrícolas.

No entanto, com o objectivo de aumentar a durabilidade de paredes em terra, a terra pode ser estabilizada. Estabilizar a terra significa alterar um sistema terra-água-ar, procurando melhorar as suas propriedades finais, sobretudo ao nível das resistências. Essa estabilização é feita actuando na textura e na estrutura da própria terra e pode ser feita por três processos diferentes (Faria-Rodrigues 2007):

- Estabilização mecânica – Aplicação de uma força de compressão sobre o material, fazendo com que este ganhe maior densidade, diminuindo o seu nível de porosidade. Esta prática é vulgarmente utilizada na técnica construtiva da taipa e dos blocos de terra comprimida.
- Estabilização física – Correção da granulometria da terra de forma a alterar a textura do material, normalmente por eliminação de determinada fracção ou adição de um certo elemento. Esta prática é vulgarmente utilizada quando se adiciona areia e/ou fibras para a realização de adobes ou de argamassas de terra.
- Estabilização química – Adição de materiais que vão estabelecer reacções químicas, modificando as propriedades da terra. Mais recentemente, a cal e o cimento tornaram-se os principais agentes de estabilização em países industrializados. A reacção da mistura de argila e cal resulta no aparecimento de uma nova estrutura, que aglomera as partículas de terra. A adição de materiais menos agressivos como a cal e as resinas naturais vão aumentando a performance de cada elemento, contribuindo positivamente no sistema e respeitando a sua natureza.

## 2.3. Argamassas correntes

As argamassas são produtos muito utilizados tanto em construção nova como na reabilitação do edificado existente. Devido aos elevados volumes consumidos, a aspectos económicos e técnicos envolvidos, é importante que se adoptem medidas no sentido de diminuir o impacto ambiental das argamassas, aumentando a sua sustentabilidade (Faria 2012). Uma argamassa é resultante de uma mistura de agregado(s), ligante(s) e água, à qual podem eventualmente ser acrescentados certos elementos tais como adições e adjuvantes, com o objectivo de melhorar determinadas propriedades das argamassas em questão.

Os **ligantes** são os elementos mais influentes nas características das argamassas uma vez que garantem a coesão da mistura e a ligação entre os diferentes componentes. Os mais correntes são de origem mineral e dividem-se em dois grupos: os ligantes hidráulicos e os ligantes aéreos. Os primeiros, como por exemplo o cimento e a cal hidráulica, são constituídos por um pó fino que quando amassado com água forma uma pasta que endurece pela reacção química entre o pó e a água. Como tal, tanto podem endurecer expostos ao ar como imersos em água, ao contrário dos segundos (cal aérea, gesso e argila) que não endurecem dentro de água, uma vez que dependem do dióxido de carbono presente na atmosfera para formar presa (Faria 2004).

O constituinte que existe em maior quantidade numa argamassa são os **agregados**, que graças a vários factores como a dureza, a forma dos grãos, a sua granulometria e porosidade, afectam o comportamento de uma argamassa. Os agregados são geralmente areias provenientes de areeiro ou de rio, e a sua origem influencia as características mecânicas e químicas das argamassas. Estas funcionam como o esqueleto da argamassa, que ganha coesão pela ligação dos seus grãos ao ligante, pelo que a qualidade do agregado é fundamental no comportamento global da argamassa. Na generalidade, a sua composição química mantêm-se; no entanto, ao longo dos tempos, podem verificar-se reacções químicas entre as partículas finas de sílica da areia e o hidróxido de cálcio (Margalha 2011).

As **adições** são substâncias sólidas em pó, geralmente adicionadas em quantidades superiores a 5% da massa do ligante, com o intuito de melhorar algumas propriedades das argamassas. Uma situação muito frequente é a adição de pozolanas (naturais ou artificiais), que proporcionam às argamassas um incremento na resistência e durabilidade, sem aumentar a rigidez na mesma proporção. Estes materiais não têm características de ligantes, mas quando combinados com a cal e na presença da água, formam compostos insolúveis estáveis que funcionam como ligantes (Faria-Rodrigues 2004; Margalha 2011).

Os **adjuvantes** são produtos químicos, geralmente em forma líquida, que se adicionam nas argamassas em quantidades inferiores a 5% da massa do ligante. São produtos que, quando adicionados às argamassas, lhes conferem determinadas propriedades e anulam efeitos negativos no seu comportamento. No entanto, devem ser utilizados com moderação uma vez que muitos adjuvantes têm origem sintética e ainda não se conhece o seu efeito a longo prazo.

A **água** introduzida no processo de amassadura permite um envolvimento dos agregados pelo ligante, para além de contribuir para o endurecimento. A quantidade de água utilizada apresenta grande influência nas características físicas, na trabalhabilidade e na sua aplicação. No caso de argamassas de ligantes aéreos, a junção de água serve para conferir a trabalhabilidade necessária para uma correcta aplicação. Já para argamassas com base em ligantes hidráulicos, além da trabalhabilidade, a água promove o seu endurecimento. Outras propriedades afectadas pela quantidade de água existente numa argamassa são a retracção (quanto mais água, em princípio, maior a retracção), a porosidade, as resistências mecânicas e, consequentemente, a sua durabilidade. No início do processo de cura as argamassas de cal aérea apresentam mais retracção devido à evaporação da água, ao contrário das argamassas com base em ligantes hidráulicos que reagem com a água (Gomes *et al.* 2012b). No entanto, nessa fase inicial de secagem as argamassas de cal podem e devem ser reapertadas, o que não é possível com argamassas hidráulicas (Faria *et al* 2008).

Os rebocos tradicionais são constituídos por três camadas que deverão ser mais resistentes, mecanicamente, nas primeiras camadas e ir diminuindo a resistência à medida que se aproximam da superfície. Este requisito pode ser conseguido diminuindo a quantidade de ligante nas camadas mais exteriores ou utilizando agregados mais finos. A primeira camada é tradicionalmente chamada de salpico (emboco, chapisco, crespido ou camada de aderência) e caracteriza-se por ser bastante fluída, rugosa, com maior dosagem de ligante. Esta destina-se a homogeneizar a absorção do suporte e a estabelecer a ligação com a alvenaria. A camada seguinte denomina-se de base (reboco) e é uma camada mais espessa, com a função de regularização e impermeabilização, que pode ser composta por mais do que uma camada, e em que o seu acabamento não pode ser muito liso para garantir aderência à camada final de acabamento. A camada de acabamento (esboço) determina o aspecto final (cor e textura) e é normalmente composto por uma granulometria mais fina da areia ou menor quantidade de ligante (Veiga e Faria 1990; Margalha 2011).

Independentemente do suporte, as argamassas de revestimento têm geralmente como função proteger a parede da acção da água, da acção dos agentes climáticos, de acções de choque e erosão, da acção química da poluição e dos sais solúveis (contidos nos materiais, água e solo) (Veiga 2003).

### **2.3.1. Argamassas de cal aérea: adição de fibras naturais**

A partir dos anos 50 o cimento passou a ser o ligante mais utilizado nos rebocos, tendo a utilização da cal caído completamente em desuso a partir dos anos 70. Hoje em dia esta tendência está a inverter, visto que estão de volta as argamassas bastardas e, timidamente, as argamassas de cal aérea e areia (Margalha 2011).

O reaparecimento da cal aérea na construção está em parte ligado à necessidade de reabilitação de edifícios antigos e à exigência de assegurar a continuidade com os materiais existentes de forma a garantir, com maior facilidade, a compatibilidade entre os materiais aplicados e os existentes. Comparativamente aos ligantes hidráulicos, a utilização de argamassas de cal aérea apresenta algumas

vantagens na aplicação em edifícios antigos, nomeadamente uma maior permeabilidade, maior deformabilidade e menor quantidade de sais. Segundo Faria-Rodrigues (2004), essas três características são necessárias para garantir compatibilidade entre a argamassa e o suporte antigo, sendo que:

- o módulo de elasticidade deve ser menor ou igual ao do suporte;
- a permeabilidade ao vapor de água deve ser superior à do suporte (aumentando de dentro para fora ao longo das várias camadas do revestimento);
- o teor de sais solúveis nas argamassas deve ser o menor possível.

A reversibilidade é outra característica que não se consegue com o uso de argamassas de cimento. No entanto essa questão apenas assume importância se o edifício a intervir em estiver inerente um valor histórico e cultural.

No entanto, as argamassas com base em ligantes aéreos apresentam algumas características que lhes retiram competitividade, principalmente na construção/reabilitação do edificado mais recente, relativamente a argamassas com ligantes hidráulicos. São atribuídas, muitas vezes erradamente, pelo facto de possuírem baixas resistências mecânicas (embora geralmente suficientes para as aplicações em causa) e demorarem bastante tempo a adquirir-las, terem baixa aderência a alguns suportes, deterem grande retracção inicial (podendo ser reapertadas algumas horas após aplicação), possuírem grande absorção capilar e apresentarem dificuldades em formar presa em ambientes muito húmidos ou com fraca presença de CO<sub>2</sub> (Faria *et al.* 2008).

O reforço de argamassas de cal aérea com fibras tem-se revelado um método bastante eficaz no aumento da resistência à tracção, e conseqüente diminuição de retracção, conduzindo ao aumento de durabilidade deste tipo de argamassas. Com base num estudo realizado por Di Bella *et al.* (2014), que comparou o comportamento entre fibras naturais (sisal e cânhamo) e fibras sintéticas (fibras de polipropileno de alta densidade) em argamassas de cal hidratada, pode-se concluir que a introdução de fibras naturais reduz significativamente a retracção inicial devida à evaporação da água. No entanto, a resistência aos ciclos de gelo/degelo, para qualquer tipo de fibra estudado, diminuiu bastante devido à sensibilidade que estas apresentam à água. A adição de fibras naturais também diminuiu a redução de massa volúmica das argamassas comparativamente com as fibras sintéticas. Os autores concluíram que as fibras naturais são uma alternativa viável.

Durante séculos, o pêlo e a crina de animais foram adicionados como um reforço para argamassas de cal em rebocos de edifícios. Nos últimos anos, as fibras sintéticas têm sido usadas para a mesma finalidade, embora o uso de cabelo tenha persistido, mas numa escala muito inferior. As fibras provenientes de animais mais utilizadas são a crina de cavalo, lã de ovelha, pêlo de cabra e bovino. Contudo, o seu uso tem algumas particularidades, uma vez que por razões de higiene estes têm de ser limpos, e se esse nível de limpeza for demasiado profundo, pode destruir a estrutura de queratina dos



pêlos (Kennedy 2013) ou inviabilizar a sustentabilidade da sua utilização, por exemplo devido a consumos de água para lavagens.

### **2.3.2. Argamassas de terra e mistas: com cal aérea e fibras naturais**

Na arquitectura portuguesa mais tradicional, as argamassas de terra eram usadas na elevação de paredes em alvenaria de pedra e em rebocos aplicados nas paredes interiores, enquanto no exterior era mais frequente a utilização de cal aérea como ligante principal (também se utilizavam argamassas mistas de cal com terra). Além de cumprirem a sua função de protecção dos paramentos contra agentes climáticos e impacto, as argamassas em terra também desempenham um papel decorativo das paredes graças à sua tonalidade muito própria (Fernandes 2008). Contudo, estas argamassas foram caindo no esquecimento, com o passar do tempo e, actualmente, são poucas as pessoas que ainda conhecem verdadeiramente as suas técnicas de formulação e aplicação. Hoje em dia a sua utilização é mais solicitada para a reabilitação e conservação de edificações em terra, graças à sua elevada compatibilidade com esse tipo de suporte. Nas argamassas de terra o ligante é a argila, mas é muito comum a sua estabilização com outros ligantes, como a cal e o cimento, e/ou pela adição de materiais pozolânicos ou materiais naturais, como as fibras (Gomes *et al.* 2012b).

Nas argamassas de terra, o teor de água tem grande influência nas características físicas, nomeadamente plasticidade, compactação e retracção, e na sua trabalhabilidade. Segundo o estudo realizado por Gomes *et al.* (2012b), que visa o desenvolvimento de argamassas de terra adequadas à reparação de paredes de taipa, conclui-se que a retracção e a trabalhabilidade destas argamassas são fortemente influenciadas pela relação água/material seco e, consequentemente, este é o parâmetro que mais peso apresentada aquando a sua aplicação. Relativamente à retracção volumétrica, verificou-se que esta é directamente proporcional à relação água/material seco. Como tal conclui-se que os problemas que surgem com este tipo de argamassas prendem-se muitas vezes com o controlo da retracção, a permeabilidade e a trabalhabilidade.

A cal aérea, introduzida em pequenas dosagens nas argamassas de terra, interage com os minerais de argila, alterando a estrutura entre partículas e aglutinando-as, reduzindo desta forma o volume de vazios presente no material. Se a quantidade de cal aplicada for de 6 a 12% torna-se o sistema mais impermeável, enquanto adições de 2 a 3% melhoram a sua trabalhabilidade. Consequentemente, a introdução de cal pode ainda aumentar a sua resistência mecânica. E o facto de a cal permitir manter a permeabilidade natural da terra, confere-lhe grande compatibilidade com este material (Houben e Guillaud 2006; Ponte 2012).

A adição de fibras, de origem sintética ou natural, à terra tem como principal objectivo melhorar as suas propriedades, sobretudo a sua resistência mecânica e retracção. O uso de fibras imita o comportamento de raízes de plantas e contribui para a estabilidade da massa de terra, aumentando a resistência dos elementos de terra próximo da superfície (Hejazi *et al.* 2012). A adição de fibras naturais de pequena dimensão (por ex. cânhamo cortado) têm como objectivo diminuir a fissuração nos

processos de secagem da terra e, como tal, reduzir a retracção. Este tipo de fibras distribui as tensões de retracção por toda a massa, controlando desta forma a retracção. Em Gomes *et al.* (2012c), a introdução de fibras de cânhamo em argamassas de terra com cal aérea permitiu verificar uma significativa redução da retracção linear e volumétrica. Por seu lado, as fibras de maior dimensão (por ex. lã) contribuem para um aumento da resistência à tracção e ao corte, pelo facto de constituírem forças opostas, e atribuem aos elementos onde estão inseridos um comportamento mais dúctil (Ponte 2012; Aymerich *et al.* 2012).

A generalidade das fibras é preenchida de ar, como tal a sua adição provoca uma diminuição da massa volúmica e um aumento do isolamento térmico. Com base em Ashour *et al.* (2010), a introdução de algumas fibras vegetais (cevada, trigo e aparas de madeira) diminui consideravelmente a condutibilidade térmica de argamassas de terra. No entanto, a adição de fibras apresenta também algumas desvantagens, como a sensibilidade à humidade que causa a sua degradação e a possibilidade de causar contaminação biológica ao elemento/material em que se insere (Fernandes 2008).

Segundo um estudo realizado por Hejazi *et al.* (2012) utilizando vários tipos de fibras naturais (fibra de coco, sisal, fibra de palmeira, cânhamo, linho, palha, bambu e cana) e fibras sintéticas (polietileno, poliéster, nylon e vidro), a inclusão de fibras distribuídas aleatoriamente aumenta significativamente a resistência ao corte, aumenta a ductilidade do conjunto e a resistência à tracção. O comportamento mais dúctil revelado após a introdução de fibras ganha maior importância em casos em que também sejam introduzidos ligantes, como a cal e o cimento, uma vez que estes tendem a diminuir a ductilidade da terra.

Durante a pesquisa bibliográfica realizada, percebeu-se que sobre argamassas mistas de cal aérea com terra e fibras semelhantes às desenvolvidas no presente estudo, existia pouca informação em artigos científicos. Como tal, este estudo ganha uma outra dimensão com o intuito de contribuir para preencher a falta de informação existente.

Através da caracterização efectuada por Dias (2013) e Jamú (2013) em estudos que antecederam o presente trabalho, foi possível avaliar a viabilidade de aplicação de argamassas mistas de cal aérea e argila em diferentes suportes. Em função das características observadas, a sua utilização não tem de limitar-se à aplicação em paredes realizadas com base em terra, mas pode estender-se a outros suportes, nomeadamente a paredes de alvenaria de pedra argamassada antigas, com necessidades de intervenção com vista à sua conservação e manutenção prementes (Faria 2013).

### **2.3.3. Exigências funcionais das argamassas**

As argamassas podem ser utilizadas em dois grandes contextos diferentes. Podem ser utilizadas na conservação, reabilitação e reparação do património edificado ou aplicadas em construção nova. No entanto, é no primeiro caso que surgem maiores dificuldades na escolha do tipo de argamassa a utilizar, não só pela dificuldade de tipificar intervenções (os edifícios antigos variam muito na sua constituição e forma), mas também pelo facto das intervenções em edifícios com valor cultural (monumen-

tos) exigirem uma preservação dos materiais existentes e da sua autenticidade histórica. Como tal a intervenção em monumentos exige uma abordagem conservativa, enquanto nos edifícios antigos correntes a abordagem deve ser mais pragmática, ou seja, com menores custos associados e mais durabilidade (Veiga 2003; Henriques e Faria-Rodrigues. 2006).

As argamassas desempenham um papel fundamental na conservação do património edificado, o que tem conduzido a inúmeros estudos sobre argamassas de substituição para conservação e reabilitação de edifícios. Estas devem ser avaliadas segundo uma abordagem exigencial, com base na função que a argamassa vai desempenhar, tais como rebocos de protecção de alvenarias, refechamento de juntas ou injeções. Em todos os casos de aplicação de argamassas em conservação de edifícios, estas devem contribuir para a preservação das alvenarias onde vão ser aplicadas, bem como serem passíveis de ser removidas, quando perderem a sua funcionalidade, sem produzir danos nos materiais e estruturas existentes (reversibilidade) (Henriques e Faria-Rodrigues 2006; Henriques *et al.* 2008).

Para a protecção das alvenarias, evitando ou diminuindo a velocidade de degradação destas, as argamassas de substituição para **rebocos exteriores** de edifícios antigos devem possuir as seguintes características (Henriques e Faria-Rodrigues 2006):

- A absorção capilar deve ser a menor possível, quer em termos de velocidade de absorção (coeficiente de capilaridade) quer em quantidade de água absorvida (valor assintótico).
- Boa permeabilidade ao vapor de água para garantir que a água infiltrada consegue evaporar. No entanto não deve ser tão elevada que as taxas de evaporação induzam a ocorrência de criptoflorescências - cristalização dos sais sob os revestimentos de parede (Henriques, 1994).
- Estabilidade dimensional, tanto numa fase inicial (retrações) como a longo prazo (variações dimensionais no interior da alvenaria ou da argamassa).
- Boa aderência ao suporte.
- As suas resistências mecânicas devem ser mais fracas e mais deformáveis que as alvenarias. Se forem aplicadas em camadas, as propriedades mecânicas devem decrescer do interior para o exterior.
- Tanto quanto possível, as argamassas não devem libertar sais solúveis. No entanto, e devido aos sais que inevitavelmente existem em alvenarias, as argamassas devem apresentar resistências mecânicas altas e/ou porosidades elevadas (poros suficientemente grandes para os sais cristalizarem no seu interior sem produzirem tensões excessivas).
- As resistências mecânicas devem conseguir suportar acções de gelo/degelo (nos locais onde as temperaturas possam descer abaixo dos 0°C) e choques intencionais e acidentais.
- As argamassas devem fazer presa num período de tempo curto, por forma a impedir deteriorações devido a resistências mecânicas iniciais fracas.

Para os revestimentos **interiores** de edifícios antigos estes parâmetros são igualmente importantes, excepto a capacidade de impermeabilização, salvo em zonas fendilhada.

Ao contrário dos rebocos, o objectivo da junta é de natureza estrutural, dado que a sua criação tem o objectivo de distribuir tensões entre elementos pelo aumento do atrito. Como tal os requisitos necessários para uma argamassa ser adequada para **refechamento de juntas**, estão muitos ligados às suas características mecânicas e capacidade de deformação, enumerados de seguida (Henriques e Faria-Rodrigues 2006):

- as resistências mecânicas devem ser elevadas nas suas várias formas;
- devem ser ligeiramente expansivas, de modo a criarem uma boa distribuição de tensões;
- o uso da cal hidratada deve ser condicionado para juntas mais profundas, devido à dificuldade de acesso do CO<sub>2</sub> necessário para atingir uma cura adequada;
- a absorção capilar deve ser a menor possível e a permeabilidade ao vapor deve ser elevada, no caso de juntas que estejam à vista.

De forma a garantir uma boa resistência mecânica podem utilizar-se ligantes hidráulicos ou adições que promovam a hidraulicidade neste tipo de argamassas.

A durabilidade das argamassas a utilizar é essencial para que os restantes requisitos adquiram significado prático. Esta normalmente está associada a uma boa resistência mecânica, boa coesão interna, boa aderência ao suporte e boa resistência química. No entanto, considerando apenas a durabilidade de argamassa de cal, esta está directamente relacionada com a capacidade de reter e evaporar a água da sua estrutura porosa e o seu comportamento relativamente aos saís e ciclos de gelo/degelo. Outros factores que influenciam fortemente a durabilidade e comportamento de uma argamassa de revestimento são a sua técnica de aplicação e a quantidade de água introduzida no processo de amassadura (Veiga 2013).

Tendo em conta os requisitos definidos anteriormente, a selecção de uma argamassa de substituição pode resumir-se em três passos. Inicialmente efectua-se a caracterização da argamassa existente, identificando-se a sua constituição (qualitativa e quantitativa), tentando de seguida reproduzi-la. Por fim, esta deve ser aplicada segundo técnicas tradicionais da época da sua concepção original. Mas mesmo com as tecnologias que são usadas actualmente, não é ainda possível determinar, com rigor, a existência de adjuvantes orgânicos e até as próprias adições minerais são difíceis de quantificar correctamente. Por outro lado, os próprios materiais, mesmo quando identificados pelo mesmo nome, não apresentam características idênticas – veja-se por exemplo o caso de cal aérea fabricada artesanalmente ou industrialmente (Faria *et al.* 2008). Isso, associado ao facto das técnicas de execução se terem perdido ao longo do tempo e as condições climáticas não serem iguais às de antigamente, torna o processo de selecção da composição de uma argamassa um processo iterativo. Ou seja, são preparadas argamassas semelhantes e corrigidas até se aproximarem das características desejadas que garantam um comportamento adequado. Para edifícios sem valor cultural não é economicamente possível cumprir este procedimento; como tal devem ser utilizadas argamassas semelhantes que já tenham sido testadas em edifícios semelhantes ou uma argamassa pré-doseada de características conhecidas que verifique os requisitos mínimos (Veiga 2003).

Algumas características das argamassas mencionadas anteriormente são quantificadas em intervalos de valores, para a maioria das paredes de alvenaria mista nacionais, definidos através da acumulação de experiência (Veiga *et al.* 2010) e apresentam-se de seguida na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Requisitos estabelecidos para as características, aos 90 dias, das argamassas de revestimento para edifícios antigos (Veiga *et al.* 2010)

Função	Características Mecânicas			Comportamento à Água
	$R_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_d$ [N/mm <sup>2</sup> ]	CC [kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ]
Reboco exterior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5000	1,0 < CC < 1,5
Reboco interior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5000	-
Refechamento de juntas	0,4-0,8	0,6-3,0	3000-6000	1,0 < CC < 1,5

Para edifícios correntes, a norma EN 998-1 (CEN 2010) define algumas gamas de valores que as argamassas para rebocos devem possuir.

Tabela 2.2 - Classificação para as propriedades de argamassas no estado endurecido EN 998-1 (CEN 2010)

Propriedades	Categoria	Valores
Resistência à compressão aos 28 dias	CS I	0,4 a 2,5 MPa
	CS II	1,5 a 5,0 MPa
	CS III	3,5 a 7,5 MPa
	CS IV	≥ 6 MPa
Absorção de água por capilaridade	W 0	Não especificado
	W 1	CC ≤ 0,40 kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
	W 2	CC ≤ 0,20 kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
Condutibilidade térmica	T 1	≤ 0,1 W/m.K
	T 2	≤ 0,2 W/m.K

## 2.4. Paredes de Terra em Portugal

Em Portugal as principais técnicas construtivas tradicionais em terra são: a taipa, a alvenaria de blocos de adobe e o tabique. O seu clima seco é favorável à utilização de terra crua, já que uma das limitações da sua aplicação é a sua susceptibilidade à água. Essas técnicas de construção são relativamente simples e precisam fundamentalmente de mão-de-obra, *know-how* e solo locais, uma vez que a terra é um material cuja constituição e comportamento variam de local para local, o que lhes retira interesse económico por parte de grandes empresas e, como tal, dificulta a sua divulgação. No entanto, em alguns países desenvolvidos, são comercializados industrialmente muitos produtos para a construção realizados com terra.

Os **blocos de adobe** são produzidos a partir de terra crua na fase plástica e moldados em pequenos moldes de madeira, que posteriormente são desmoldados ainda em estado fresco para de seguida serem colocados a secar à temperatura ambiente. Uma vez que a terra argilosa tem tendência a criar fissuras, para a produção dos blocos de adobe esta pode ser estabilizada com a introdução de areia

e cal aérea (situação que era comum na região de Aveiro), de fibras vegetais (muito comum em Inglaterra) ou de betume como é mais comum nos EUA (Houben 1994).

A construção em **taipa** consiste na execução de paredes espessas e monolíticas através de processos de compactação de terra quase seca. Na sua utilização tradicional, recorria-se à utilização de moldes de madeira denominados de taipais que têm a função de moldar as paredes. O nome de “taipa” deriva desses mesmos taipais. A terra colocada no seu interior é compactada e posteriormente os moldes são deslocados ao longo do comprimento da parede em construção, servindo novamente de moldes do bloco de parede adjacente. Actualmente o processo agilizou-se através da utilização de cofragens metálicas deslizantes, sistemas mecânicos de compactação e sistema de projecção mecânica. A principal dificuldade prende-se com a necessidade de garantir boas condições de humedificação da terra, de modo a obter uma compactação eficaz. Para esta técnica construtiva recorre-se, muitas vezes, à estabilização da terra com cimento ou cal (Lourenço *et al.* 2001).

Comparando as duas técnicas referidas anteriormente, a terra utilizada para a taipa é geralmente mais seca e menos argilosa do que a utilizada no adobe, logo esse é um factor importante a ter em conta na escolha da técnica mais adequada para um determinado local, consoante a terra seja mais argilosa (adobe) ou menos argilosa (taipa).

Por outro lado, o **tabique** é uma técnica que consiste em aplicar terra sobre uma estrutura ligeira, previamente concebida, geralmente de madeira ou cana. Esta estrutura mista detém uma capacidade resistente superior conferida pela madeira ou pelas canas, que a distingue da taipa e do adobe, em que a terra é o material principal (Carvalho *et al.* 2008).

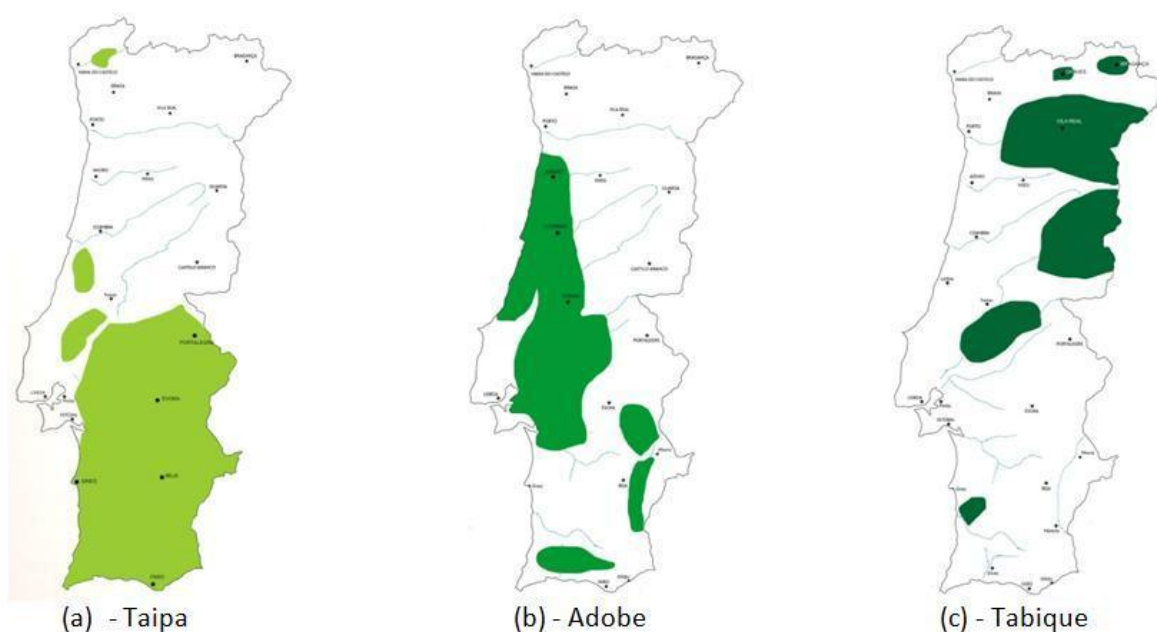


Figura 2.4 – Distribuição geográfica em Portugal das principais técnicas construtivas tradicionais em terra (Carvalho *et al.* 2008)

Na Figura 2.4 é possível constatar a distribuição geográfica das três técnicas construtivas mencionadas anteriormente, em Portugal Continental. A taipa revela maior expressão na zona sul do país (Alto e Baixo Alentejo e Algarve), enquanto a construção em adobe difunde-se mais pela Beira Litoral, Ribatejo e bacia do Sado. Por último, o tabique foi mais utilizado em Trás-os-Montes, Alto Douro e na Beira Alta. Pode-se assim concluir que alguns factores determinantes na selecção do processo construtivo são: o clima e a terra existente em cada região.

De acordo com o estudo realizado, o principal factor natural que causa a degradação de edifícios de terra é o acesso da água, pois esta diminui a coesão interna dos elementos de terra e a sua resistência mecânica, aumentando a potencialidade da degradação por acção de sais solúveis. No entanto, não se pode menosprezar a influência de factores humanos, nomeadamente o abandono das edificações e a falta de protecção (cobertura e revestimentos), introdução de materiais incompatíveis como revestimentos e uso indevido (Gomes *et al.* 2009).





### 3. Argamassas, provetes e cura

#### 3.1. Constituintes das argamassas

Para compreender o comportamento de uma argamassa é necessário conhecer as características e propriedades das matérias-primas utilizadas na sua produção. Assim sendo, a sua caracterização considera-se de extrema importância. No presente trabalho a caracterização dos constituintes das argamassas resumiu-se à determinação das baridades da cal aérea e fibras vegetais, visto que para as fibras animais não se conseguiu encontrar uma forma de as caracterizar. As restantes caracterizações foram retiradas de trabalho anteriores.

##### 3.1.1. Cal aérea

O principal ligante utilizado nesta dissertação foi a cal aérea hidratada em pó, da marca Lusical, que foi disponibilizada pelo produtor. A sua composição química foi determinada em Gameiro *et al.* 2014 e vem discriminada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Composição química da cal aérea (Gameiro *et al.* 2014).

Material (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	L.O.I.*
Cal Aérea	-	0,01	0,15	0,01	3,09	76,74	-	0,02	0,04	0,01	20,45

\*Loss on ignition (perda ao fogo)

De acordo com produtor, esta encontra-se dentro dos parâmetros definidos na norma NP EN 459-1 (IPQ 2011), classificando-se como CL90. Esta é comercializada com a designação de Lusical H100 e será referida como CL ao longo deste trabalho.

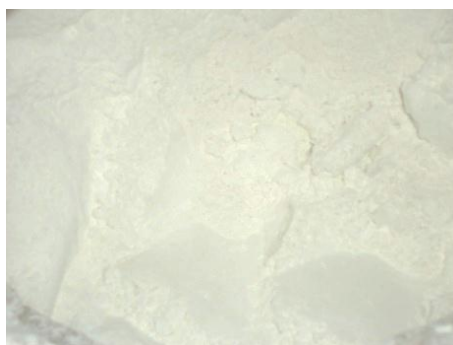


Figura 3.1 – Cal aérea (CL) da Lusical

Para completar a caracterização da cal (CL) foi determinada a sua baridade com base na norma NP EN 1097-3 (IPQ 2000). A determinação da baridade dos constituintes é necessária para se poder medir rigorosamente o traço da argamassa em massa, correspondendo-o com o traço em volume. Para a determinação da baridade foi necessário um recipiente cilíndrico, um funil e um tabuleiro metálico. Uma vez que já se conhecia o volume do recipiente cilíndrico, utilizado em trabalhos anteriores, o volume considerado foi de 0,749 dm<sup>3</sup> (Dias 2013). Assim, a determinação da baridade da cal come-

çou pela colocação do recipiente de modo a que o bordo inferior do funil ficasse a 73 mm do seu topo, de seguida pôs-se o material a ensaiar no funil, tapado na base, e com o recipiente cilíndrico dentro de um tabuleiro de modo a evitar perdas de material (Figura 3.2a). Depois do funil estar cheio, abriu-se a sua base e o material caiu por gravidade para dentro do recipiente cilíndrico até que se formasse um cone no topo (Figura 3.2b). Por fim, alisou-se a superfície (Figura 3.2c), pesou-se e a baridade obteve-se pela Equação 3.1:

$$ba = \frac{(m_3 - m_0)}{V} [g/cm^3]$$

Equação 3.1

onde,

Ba [g/cm<sup>3</sup>]: baridade

m<sub>0</sub> [g]: massa do recipiente

m<sub>3</sub> [g]: massa do recipiente cheio com o material

V [cm<sup>3</sup>]: volume do recipiente

O processo foi repetido três vezes para garantir maior exactidão do resultado, sendo a baridade final a média dos três valores. O valor de baridade obtido para a cal foi 0,3613 g/cm<sup>3</sup>.



Figura 3.2 – Baridade da cal; a) Obstrução da base do funil; b) Formação de um cone de cal no topo do recipiente; c) Razagem da superfície e pesagem do conjunto.

### 3.1.2. Areias

Por forma a manter a coerência com os anteriores trabalhos na continuidade dos quais este foi desenvolvido (Dias 2013; Jamú 2013), neste trabalho foi utilizada uma mistura de três tipos diferentes de areias siliciosas, lavadas e graduadas de diferentes granulometrias, nomeadamente: APAS 12, APAS 20 e APAS 30. Assim sendo, os seus valores característicos (baridade e curvas granulométricas) foram retirados desses mesmos trabalhos e são apresentados na Tabela 3.2 e Figura 3.3.

Tabela 3.2 – Baridades das três areias e da mistura de areias.

Baridade (g/cm <sup>3</sup> )	
APAS 12	1,412
APAS 20	1,405
APAS 30	1,388
Mistura	1,463

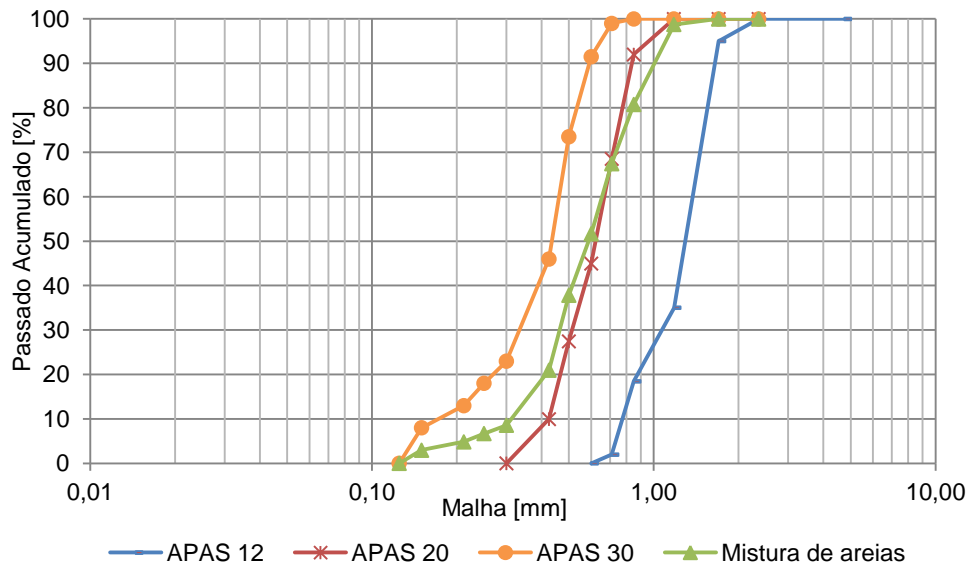


Figura 3.3 - Curvas granulométricas das três areias e da mistura de areias utilizada.

Como se pode observar na Figura 3.3, a APAS 12 é a areia que apresenta maior granulometria, enquanto a APAS 20 possui uma granulometria intermédia e por fim aparece a APAS 30 com uma granulometria mais fina. A curva da mistura de areias situa-se numa posição intermédia, começando na curva de areia que apresenta maior granulometria (APAS 12) e acabando na curva de menor granulometria (APAS 30), como seria de esperar. A proporção volumétrica da mistura é de 25% de APAS 12 para 37,5 % de APAS 20 e 37,5% de APAS 30 (1:1,5:1,5 de APAS 12, APAS 20 e APAS 30).

Uma vez que nas argamassas de traço 1:3, que não a padrão, houve uma substituição de parcela do agregado fino (APAS 30) por terra argilosa, apenas na argamassa padrão (CL3) se manteve esta proporção. A partir daqui vão designar-se as areias por areia grossa (ArG), média (ArM) e fina (ArF). Nas restantes argamassas de traço 1:3 houve uma ligeira alteração na proporção das diferentes areias, enquanto nas argamassas de traço 1:2 a proporção se manteve constante, como se pode verificar na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Proporções volumétricas das areias nas diferentes argamassas.

	Proporções volumétricas das Areias		
	ArG	ArM	ArF
CL2	25,00%	37,50%	37,50%
CL2_Terra Argilosa + Fibras	25,00%	37,50%	37,50%
CL3	25,00%	37,50%	37,50%
CL3_Terra Argilosa + Fibras	25,97%	38,96%	35,06%

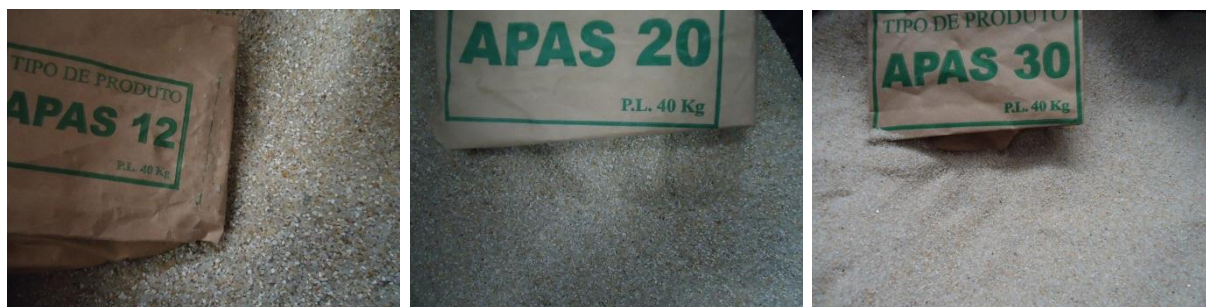


Figura 3.4 – Amostras de areia com granulometria decrescente da esquerda para a direita.

### 3.1.3. Terra

A terra utilizada na presente dissertação foi a mesma de outras teses, dissertações e trabalhos anteriores (Gomes 2013; Gomes *et al.* 2012a; Dias 2013; Jamú 2013) e é originária da zona de Rendinha, Pombal e foi disponibilizada pela empresa Sorgila. Esta foi sujeita a uma moagem em moinho de maxilas, para desagregar torrões, e posteriormente homogeneizada com auxílio de um repartidor.

Segundo Gomes *et al.* (2012a) a baridade da terra argilosa utilizada é de  $1136,4 \text{ kg/m}^3$  e segundo uma análise de difracção por raio-X, efectuada no âmbito do mesmo trabalho, a composição mineralógica da terra é a apresentada na Tabela 3.4, assim como a curva granulométrica por via húmida que surge na Figura 3.5.

Tabela 3.4 – Composição mineralógica da terra por análise de XRD (Gomes *et al.* 2012a)

Composto Cristalinos Identificados	Terra-Padrão
Quartzo	+++
Feldspatos	Vtg
Mica	Vtg
Clorite	?
Caulinite	++
Geotite	+
Anatase	+/Vtg

Notação: +++ proporção elevada; ++ proporção média; + proporção fraca; Vtg vestígios; ? Dúvidas na presença; - não identificado.

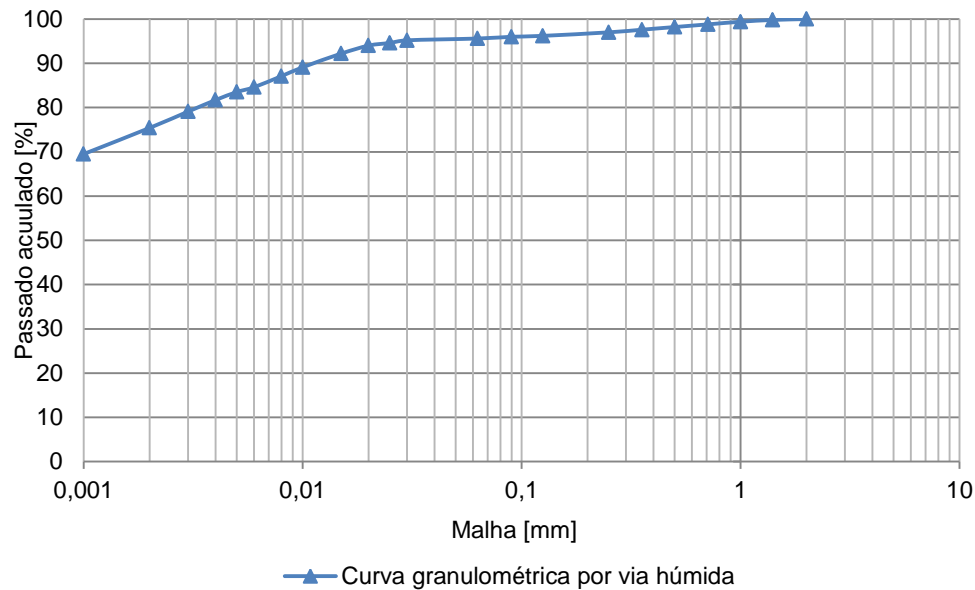


Figura 3.5 - Curva granulométrica da terra argilosa por via húmida (Gomes *et al.* 2012a).

Contudo, em dissertações posteriores a Gomes *et al.* (2012a), nomeadamente Dias (2013) e Jamú (2013), o valor da baridade foi recalculado (utilizando o mesmo método aplicado para a determinação da baridade dos restantes constituintes – com base na norma NP EN 1097-3 (IPQ, 2000)) e determinou-se uma nova curva granulométrica, mas desta vez por via seca. Esta nova curva apresentou resultados insatisfatórios (os torrões de terra desfaziam-se facilmente) o que justifica a sua omissão, mas o novo valor da baridade foi tido em consideração. Como tal, o valor da baridade da terra argilosa considerado nos cálculos da presente dissertação foi  $1,084 \text{ g/cm}^3$ .



Figura 3.6 – Amostra da terra argilosa desterrada.

#### 3.1.4. Fibras naturais

Como já referido anteriormente, no presente trabalho foram utilizados três tipos de fibras naturais diferentes, nomeadamente fibras vegetais (casca de arroz, Figura 3.7a, designadas como FV) e fibras animais (crina de cavalo cortada, Figura 3.7b, designada como FAcrina, e *blouces* lã de ovelha, Figura 3.7c, designada como FAIã). As primeiras foram disponibilizadas pela empresa Orivárzea, sediada em Salvaterra de Magos e as *blouces* de lã de ovelha foram disponibilizados pela Multilãs, sem qualquer tipo de custo associado. A sua caracterização baseou-se no procedimento descrito no ponto

3.1.1 (para a cal aérea), mas neste caso com o intuito da determinação da baridade das fibras vegetais anteriormente mencionadas.



Figura 3.7 – As fibras: a) casca de arroz; b) crina de cavalo antes de ser cortada; c) resíduo de lã de ovelha.

### 3.1.5. Água

A água adicionada na execução das argamassas foi proveniente da rede pública. A quantidade de água a adicionar foi considerada tendo em conta as quantidades de material introduzidas, nomeadamente fibras, e a experiência do operador, com vista a obter a melhor trabalhabilidade possível, bem como os resultados obtidos no ensaio de espalhamento.

## 3.2. Formulação das argamassas

Uma vez que esta dissertação surge no seguimento de Dias (2013) (argamassas com base no traço volumétrico 1:3) e Jamú (2013) (argamassas com base no traço 1:2), seleccionaram-se as argamassas com melhores resultados em estado fresco e aos 28 dias, de cada trabalho, uma vez que eram os únicos resultados existentes na altura em que foi iniciada a presente dissertação. A estas foram adicionadas três tipos de fibras naturais, mantendo-se as quantidades, no caso das argamassas padrão (só de cal) e de referência (de cal e terra).

Nas argamassas que possuem um traço de 1:2 foi efectuada uma substituição parcial do ligante (CL) por terra argilosa, funcionando esta como ligante, enquanto nas argamassas de traço 1:3 a substituição parcial foi de areia com granulometria fina (ArF) pela mesma terra argilosa. Os três tipos de fibras foram adicionados em duas dosagens diferentes, onde a segunda tem o dobro da massa da primeira. Os restantes constituintes apenas tinham 80% de massa dos constituintes das argamassas de referência devido ao volume da cuba da misturadora de argamassas de laboratório. A quantidade máxima de fibras utilizada nas diferentes argamassas foi baseada em algumas “argamassas teste” realizadas com base na experiência do operador em avaliar uma boa trabalhabilidade em argamassas.

Nas Tabelas seguintes (Tabela 3.5, Tabela 3.6, Tabela 3.7, Tabela 3.8) estão identificadas as argamassas desenvolvidas neste trabalho e resumidas todas as dosagens respectivas, bem como a quantidade de água necessária no processo de amassadura e algumas relações entre constituintes.



Tabela 3.5 – Dosagens dos constituintes das argamassas com base no traço 1:2, relação água/cal+argila e água/argila e percentagem mássica de fibra em função da cal.

Argamassas	Massa (g)						V <sub>água</sub> (ml)	Rel. A/(CL +Terra)	Rel. A/Terra	Fi- bra/ CL [%]	Fi- bras/(CL +Terra+ Ar) [%]
	ArG	ArM	ArF	Terra	Fi- bras	CL					
CL2	1129,6	1686	1665,6	0,0	0	578,1	1000	1,73	-	-	-
CL2_25t(L)	1129,6	1686	1665,6	144,5	0	433,6	1025	1,77	7,09	-	-
CL2_25t(L)_0, 5FV	903,7	1348,8	1332,5	115,6	32	346,9	940	2,03	8,13	9	0,78
CL2_25t(L)_FV	903,7	1348,8	1332,5	115,6	64	346,9	1050	2,27	9,08	18	1,56
CL2_25t(L)_0, 5FA <sub>crina</sub>	903,7	1348,8	1332,5	115,6	17,5	346,9	950	2,05	8,22	5	0,43
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	903,7	1348,8	1332,5	115,6	35	346,9	950	2,05	8,22	10	0,86
CL2_25t(L)_0, 5FA <sub>Lã</sub>	903,7	1348,8	1332,5	115,6	6	346,9	940	2,03	8,13	2	0,15
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	903,7	1348,8	1332,5	115,6	12	346,9	1050	2,27	9,08	4	0,30

Tabela 3.6 - Dosagens dos constituintes das argamassas com base no traço 1:3, relação água/cal+terra e água/terra e percentagem mássica de fibra em função da cal.

Argamassas	Massa (g)						V <sub>água</sub> (ml)	Rel. A/(CL +Terra)	Rel. A/Terra	Fi- bra/ CL [%]	Fi- bras/(CL +Terra+ Ar) [%]
	ArG	ArM	ArF	Terra	Fi- bras	CL					
CL3	1129,6	1686	1665,6	0,0	0	385,4	975	2,53	-	-	-
CL3_10t(ArF)	1129,6	1686	1499,0	166,6	0	385,4	1000	1,81	6,00	-	-
CL3_10t(ArF)_0, 5FV	903,7	1348,8	1199,2	133,2	32	308,3	920	2,08	6,90	10	0,82
CL3_10t(ArF)_FV	903,7	1348,8	1199,2	133,2	64	308,3	1030	2,33	7,73	21	1,62
CL3_10t(ArF)_0, 5FA <sub>crina</sub>	903,7	1348,8	1199,2	133,2	17,5	308,3	930	2,11	6,98	6	0,45
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	903,7	1348,8	1199,2	133,2	35	308,3	930	2,11	6,98	11	0,89
CL3_10t(ArF)_0, 5FA <sub>Lã</sub>	903,7	1348,8	1199,2	133,2	6	308,3	920	2,08	6,90	2	0,15
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	903,7	1348,8	1199,2	133,2	12	308,3	1030	2,33	7,73	4	0,31

A percentagem de massa de fibras face à massa de cal aérea ( $Massa_{fibras}/Massa_{cal}$ ) varia entre os 2% para a argamassa com menor quantidade de lã de ovelha e 21% para a argamassa com maior quantidade de casca de arroz (Tabela 3.5). Por outro lado, a percentagem de massa de fibras face à massa do conjunto de todos os restantes constituintes (Cal + terra + mistura de areias) varia entre os 0,1-1,6%.

De modo a proporcionar uma melhor compreensão das substituições e adições de massa de diferentes constituintes das argamassas apresentadas anteriormente, mostram-se, na Tabela 3.7 e na Tabela 3.8, os respectivos traços em massa.

Tabela 3.7 – Traços em massa das argamassas com base no traço 1:2.

Argamassas	CL:ArG:ArM:ArF:Terra:Fibra ou CL:Areia:Terra:Fibra									
	CL	ArG	ArM	ArF	Terra	Fibra	CL	Terra	Areia	Fibra
<b>CL2</b>	1:	2,0	2,9	2,9	0,00	0,00	1:	0,00	7,8	0,00
<b>CL2_25t(L)</b>	1:	2,6	3,9	3,8	0,33	0,00	1:	0,33	10,3	0,00
<b>CL2_25t(L)_0,5FV</b>	1:	2,6	3,9	3,8	0,33	0,09	1:	0,33	10,3	0,09
<b>CL2_25t(L)_FV</b>	1:	2,6	3,9	3,8	0,33	0,18	1:	0,33	10,3	0,18
<b>CL2_25t(L)_0,5FA<sub>crina</sub></b>	1:	2,6	3,9	3,8	0,33	0,05	1:	0,33	10,3	0,05
<b>CL2_25t(L)_FA<sub>crina</sub></b>	1:	2,6	3,9	3,8	0,33	0,10	1:	0,33	10,3	0,10
<b>CL2_25t(L)_0,5FA<sub>Lã</sub></b>	1:	2,6	3,9	3,8	0,33	0,02	1:	0,33	10,3	0,02
<b>CL2_25t(L)_FA<sub>Lã</sub></b>	1:	2,6	3,9	3,8	0,33	0,03	1:	0,33	10,3	0,03

Tabela 3.8 - Traços em massa das argamassas com base no traço 1:3.

Argamassas	CL: ArG:ArM:ArF:Terra:Fibra ou CL:Areia:Terra:Fibras									
	CL	ArG	ArM	ArF	Terra	Fibra	CL	Terra	Areia	Fibras
<b>CL3</b>	1:	2,9	4,4	4,3	0,00	0,00	1:	0,00	11,6	0,00
<b>CL3_10t(ArF)</b>	1:	2,9	4,4	3,9	0,43	0,00	1:	0,43	11,2	0,00
<b>CL3_10t(ArF)_0,5FV</b>	1:	2,9	4,4	3,9	0,43	0,10	1:	0,43	11,2	0,10
<b>CL3_10t(ArF)_FV</b>	1:	2,9	4,4	3,9	0,43	0,21	1:	0,43	11,2	0,21
<b>CL3_10t(ArF)_0,5FA<sub>crina</sub></b>	1:	2,9	4,4	3,9	0,43	0,06	1:	0,43	11,2	0,06
<b>CL3_10t(ArF)_FA<sub>crina</sub></b>	1:	2,9	4,4	3,9	0,43	0,11	1:	0,43	11,2	0,11
<b>CL3_10t(ArF)_0,5FA<sub>Lã</sub></b>	1:	2,9	4,4	3,9	0,43	0,02	1:	0,43	11,2	0,02
<b>CL3_10t(ArF)_FA<sub>Lã</sub></b>	1:	2,9	4,4	3,9	0,43	0,04	1:	0,43	11,2	0,04

As designações das argamassas vêm na sequência de Dias (2013) e Jamú (2013) com o acréscimo da quantidade e do tipo de fibra em questão. Como tal:

- **CL2:** Argamassa de cal aérea (ao traço volumétrico 1:2) padrão, ou seja, sem qualquer terra;
- **CL2\_25t(L):** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) de referência sem fibras, com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea;
- **CL2\_25t(L)\_0,5FV:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 9% de fibras vegetais (casca de arroz) face à massa de cal aérea;
- **CL2\_25t(L)\_FV:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 18% de fibras vegetais (casca de arroz) face à massa de cal aérea;
- **CL2\_25t(L)\_0,5FA<sub>crina</sub>:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 5% de fibras animais (crina de cavalo) face à massa de cal aérea;
- **CL2\_25t(L)\_FA<sub>crina</sub>:** Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 10% de fibras animais (crina de cavalo) face à massa de cal aérea;



- **CL2\_25t(L)\_0,5FA<sub>Lã</sub>**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 2% de fibras animais (lã de ovelha) face à massa de cal aérea;
- **CL2\_25t(L)\_FA<sub>Lã</sub>**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:2) com 25% de massa de terra em substituição de igual parcela de cal aérea e adição de 4% de fibras animais (lã de ovelha) face à massa de cal aérea;
- **CL3**: Argamassa de cal aérea (ao traço volumétrico 1:3) padrão, ou seja, sem qualquer terra;
- **CL3\_10t(ArF)**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) de referência sem fibras, com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina;
- **CL3\_10t(ArF)\_0,5FV**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 10% de fibras vegetais (casca de arroz) face à massa de cal aérea;
- **CL3\_10t(ArF)\_FV**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 21% de fibras vegetais (casca de arroz) face à massa de cal aérea;
- **CL3\_10t(ArF)\_0,5FA<sub>crina</sub>**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 6% de fibras animais (crina de cavalo) face à massa de cal aérea;
- **CL3\_10t(ArF)\_FA<sub>crina</sub>**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 11% de fibras animais (crina de cavalo) face à massa de cal aérea;
- **CL3\_10t(ArF)\_0,5FA<sub>Lã</sub>**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 2% de fibras animais (lã de ovelha) face à massa de cal aérea;
- **CL3\_10t(ArF)\_FA<sub>Lã</sub>**: Argamassa de cal aérea (com base no traço volumétrico 1:3) com 10% de massa de terra em substituição de igual parcela de areia fina e adição de 4% de fibras animais (lã de ovelha) face à massa de cal aérea.

### 3.3. Produção das argamassas e preparação dos provetes

Após a definição de todos os traços e quantidades atinge-se um ponto fulcral desta dissertação - a produção e preparação dos provetes que mais tarde serão ensaiados e posteriormente caracterizados. A sua importância reflectiu-se durante a sua rigorosa e cuidada execução, de modo a minimizar erros e otimizar resultados. No desenvolvimento da presente dissertação foram efectuados 96 provetes prismáticos de argamassa (6 de cada argamassa) e 16 provetes de argamassa em suporte de tijolo, ambos compostos pelas 16 argamassas descritas no ponto anterior. Foi ainda realizada a aplicação de 4 argamassas em reboco numa parede de taipa em exposição natural exterior.

### 3.3.1. Amassaduras

A realização de todas as amassaduras das diferentes argamassas teve por base a EN 1015-2 (CEN 1998) e os procedimentos definidos no âmbito do projecto METACAL (Faria 2011) e dissertações anteriores, com algumas variações provocadas pela adição de diferentes tipos de fibras naturais.

Inicialmente foram pesados todos os constituintes sólidos num tabuleiro metálico, numa balança com precisão 0,1g, pela seguinte ordem: areias, terra, cal aérea e fibras naturais (Figura 3.8a). Após a pesagem, e com ajuda de uma pequena pá, homogeneizou-se ligeiramente a mistura (Figura 3.8b). De seguida, todos os constituintes da argamassa foram colocados no recipiente da misturadora mecânica do laboratório (cuba), previamente humedecido, que foi de seguida colocado na misturadora (Figura 3.8c).



Figura 3.8 – Início do processo de amassadura; a) Pesagem dos constituintes sólidos; b) Homogeneização da mistura; c) Colocação da cuba na misturadora.

Após a misturadora ser colocada em funcionamento, a velocidade de amassadura da misturadora manteve-se constante e durante os primeiros 20 a 30 segundos adicionou-se a água com auxílio de um funil, de forma regular, previamente medida numa proveta (Figura 3.9a). De seguida e passados 150 segundos, parou-se a misturadora e rasparam-se os bordos e o fundo da cuba, de forma a otimizar a mistura. Por fim ligou-se novamente a misturadora e deixou-se em funcionamento durante mais 30 segundos, finalizando o processo com um ligeiro toque manual com auxílio da colher de pedreiro (Figura 3.9b).



Figura 3.9 - Finalização do processo de amassadura; a) adição de água; b) Aspecto final.

Este procedimento teve de ser alterado nas amassaduras com fibras animais (Figura 3.10). Para evitar que se criassem nós e que as fibras se entrelaçassem, impedindo a movimentação da pá da misturadora, a totalidade da água passou a ser adicionada às amassaduras que continham fibras animais imediatamente antes da sua colocação na misturadora. O material foi homogeneizado e deu-se então início à amassadura mecânica.



Figura 3.10 – Dificuldades no processo de amassadura de uma mistura com fibras de lã de ovelha.

Desta forma atingem-se os pressupostos para se poder dar início aos ensaios em estado fresco.

### 3.3.2. Provetes prismáticos

Para a execução dos provetes prismáticos foram necessários moldes metálicos previamente preparados (Figura 3.11a). Essa preparação baseou-se na correcta montagem e posterior aplicação do óleo descofrante em todo o interior do molde, de modo a facilitar a sua descofragem. Como se pode constatar na Figura 3.11, cada molde permite a realização de 3 provetes prismáticos, cada um com dimensões de 40x40x160 mm. Posto isto, colocou-se o molde na máquina de compactação (Figura 3.11b) e apertaram-se as porcas de modo a que o molde se mantivesse devidamente seguro. De seguida, com uma colher de pedreiro, colocou-se uma primeira camada de argamassa até cerca de metade do molde e pôs-se a máquina de compactação em funcionamento de modo a concluir 20 pancadas em 20 segundos. Finalizada a primeira compactação, perfez-se o molde com uma segunda camada de argamassa de modo que esta excedesse a sua altura. Seguidamente, colocou-se novamente a máquina de compactação em funcionamento e foram dadas mais 20 pancadas em 20 segundos, finalizando assim a compactação dos provetes. Por fim, com o auxílio de uma régua metálica ou uma colher de pedreiro, rasaram-se os provetes de forma a ficarem em condições de serem transportados para a sala climática e iniciar o respectivo processo de cura (Figura 3.11c). Estes foram desmoldados na semana seguinte, ou seja, 7 dias após o dia das amassaduras.



Figura 3.11 – Execução dos provetes prismáticos; a) Preparação do molde; b) Fixação do molde na máquina de compactação; c) Aspecto final

### 3.3.3. Provetes de argamassa sobre Tijolo

Com o intuito de simular a aplicação de argamassa em obra, bem como aumentar o âmbito da presente dissertação, optou-se por aplicar as diferentes argamassas sobre tijolo convencional de dimensões 30x20x7 [cm]. O tijolo em questão foi caracterizado em dissertações anteriores, nomeadamente na determinação da sua condutibilidade térmica, quantidade de água total absorvida (1 hora de ensaio) e coeficiente de absorção (Dias 2013), apresentando-se de seguida os resultados obtidos.

Tabela 3.9 - Caracterização do tijolo furado (Dias 2013)

Tijolo furado	$\lambda$ [W/m.K]		$C_{abs.T}$ [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )]	Qt. <sub>abs.1h</sub> [ml]
	Média	DP		
	0,596	0,083	0,69	2,57

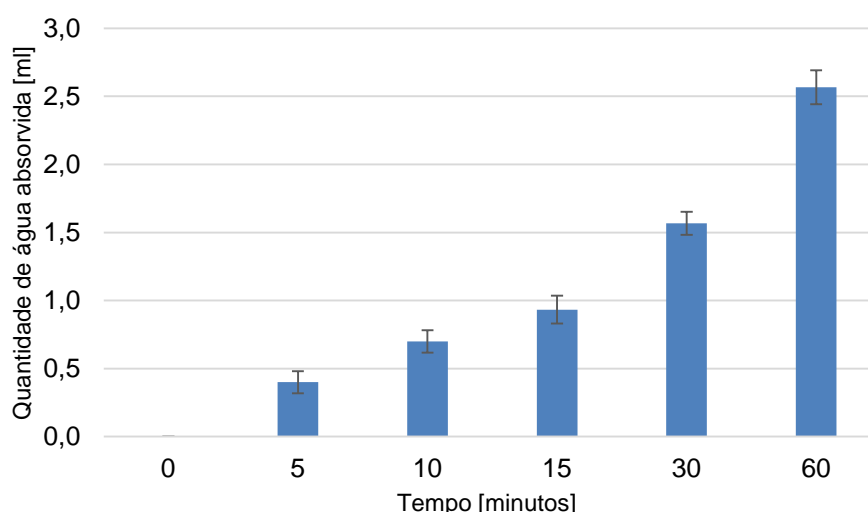


Figura 3.12 - Quantidade de água absorvida pelo tijolo furado ao longo do tempo (Dias 2013)

No que toca à preparação dos provetes, em primeiro lugar colocou-se o tijolo convencional no interior de um molde de madeira (Figura 3.13a) que tem como função garantir 1,5 cm de altura de argamassa na face onde esta será aplicada. De seguida, com um borrifador aspergiu-se a face do tijolo onde será aplicada a argamassa, de modo a humidificá-lo e desta forma evitar que absorva muita água

proveniente da amassadura. Por cima do molde de madeira foi colocada uma outra peça em madeira (Figura 3.13b), com 75 cm de altura, que garante que a aplicação da argamassa é feita a uma distância tal que reproduza a energia da aplicação em obra (Faria-Rodrigues 1993). De seguida, com uma colher de pedreiro aplicou-se a argamassa da forma mais regular possível de forma a cobrir toda a superfície do tijolo. Retirou-se o afastador de madeira e com uma régua metálica rasou-se o provete pela altura do molde. Finalizado o passo anterior, retirou-se o molde e, pouco tempo depois, transportaram-se os provetes para a sala climática para iniciar o processo de cura (Figura 3.13c).



Figura 3.13 – Aplicação de argamassa em tijolo furado corrente; a) Tijolo no interior do molde, definindo a espessura final da camada de argamassa; b) Colocação da peça de madeira de 75 cm definindo altura de queda; c) Aspecto final do provete

### 3.3.4. Aplicação em parede de taipa

Na Estação de Exposição Natural de Revestimentos do DEC da FCT UNL encontra-se um murete de taipa, realizado em Junho de 2012 no âmbito de um *workshop* promovido pela Associação Centro da Terra, com orientação Nascente-Poente, no qual se aplicaram (no lado Poente) quatro argamassas diferentes que mais tarde foram alvo de uma série de ensaios de caracterização. A caracterização do murete de taipa foi efectuada previamente à aplicação dos rebocos e será apresentada no subcapítulo 4.3. De realçar que o murete já se encontrava rebocado do lado Nascente no âmbito de outras dissertações (Dias, 2013 e Jamú, 2013).

A aplicação de argamassas em sistemas de reboco numa parede de taipa teve como objectivo alargar o âmbito desta dissertação, permitindo avaliar a trabalhabilidade das argamassas numa aplicação semelhante à real em painéis de reboco e a tentativa de aferir o comportamento que esses rebocos teriam quando aplicados num suporte de taipa em exposição natural em ambiente exterior não controlado. Para tal, foram seleccionadas as quatro argamassas com fibras que apresentavam melhores resultados no estado fresco, nomeadamente a nível de trabalhabilidade, e aos 28 dias. A sua posição no murete também foi devidamente planeada, assegurando que as argamassas menos resistentes (com fibras vegetais) seriam aplicadas na zona central do murete e as mais resistentes (com resíduo de lã de ovelha) seriam aplicadas nas extremidades. Ao mesmo tempo, as argamassas com traço mais fraco em ligante (com base no traço volumétrico 1:3) seriam aplicadas mais a Norte, de maneira a estarem mais protegidas da precipitação, que neste local é mais frequente vinda de Sul.



Posto isto, dividiu-se o murete em quatro zonas com largura aproximadamente igual e iniciou-se o processo de aplicação de reboco com a execução de um salpisco que corrigisse as irregularidades da superfície do murete e que aumentasse a aderência da camada de base aplicada posteriormente. Para a execução desse salpisco foi necessário uma pesagem prévia dos constituintes das argamassas em laboratório. No entanto, acrescentou-se 15% de água relativamente à dosagem predefinida. O processo de amassadura foi feito com o auxílio de um berbequim eléctrico e com a água toda adicionada de uma vez (Figura 3.15a). De seguida, aspergiu-se com água toda a superfície do murete (Figura 3.15b) e iniciou-se a aplicação do salpisco, sempre pelo mesmo operador, com experiência em obra (Figura 3.15c). No entanto, o facto das fibras de lã formarem novelos voltou a criar alguns problemas, uma vez que a sua aglomeração dificultou a sua distribuição pela mistura, resultando argamassas pouco homogéneas (Figura 3.14a). No entanto, devido à sua consistência mais aguada, não houve problemas na aplicação como salpisco. Relativamente às argamassas com fibras vegetais, estas mostraram-se muito mais homogéneas e com melhor trabalhabilidade (Figura 3.14b). No entanto necessitariam de mais água para a sua eficaz aplicação como salpisco.



Figura 3.14 – Pormenores de duas misturas; a) Mistura com fibras de lã; b) Mistura com fibras vegetais.

Uma vez que todo este processo se desenvolveu durante o verão, com condições de temperatura e humidade relativa durante o dia na ordem dos 25°C e 50% respectivamente (Meteoclimatic 2014), o tempo de secagem do salpisco foi muito rápido e dois dias volvidos procedeu-se à aplicação da camada de base, em condições de humidade relativa semelhante e temperatura ligeiramente superior (28°C). Neste caso, as misturas mantiveram-se fiéis ao estipulado inicialmente, sem qualquer acréscimo de água, salvo alguns acréscimos pontuais para fazer face às elevadas temperaturas registadas no dia da aplicação. A superfície, agora com o salpisco à vista, foi novamente aspergida com água e feita a aplicação da camada de base pelo mesmo operador (Figura 3.16). Relativamente à aplicação das argamassas com lã, os problemas com os novelos mantiveram-se, mas a sua trabalhabilidade melhorou. Em sentido inverso as argamassas com fibras vegetais perderam a sua boa trabalhabilidade em virtude da falta de água. Contudo, foi comum a todas as argamassas a falta de finos que foi sentida, que com certeza melhorariam a sua trabalhabilidade, o que provocou alguma dificuldade de aderência ao suporte. Esse facto foi mais perceptível nas argamassas de traço mais fraco em ligante, com base no traço volumétrico 1:3.



Figura 3.15 – Aplicação em parede de taipa - Salpisco; a) Mistura depois da amassadura; b) Murete após aspersão; c) Aplicação do salpisco da CL3\_10t(ArF)\_0,5FAIã.



Figura 3.16 - Aplicação em parede de taipa – Camada de base; a) Aplicação da camada de base da CL3\_10t (ArF)\_0,5FAIã; b) Aplicação da camada de base da CL2\_25t(L)\_0,5FV; c) Aspecto final dos painéis rebocados.

### 3.4. Condições de cura

Como referido anteriormente, os provetes de argamassa (prismáticos e em suporte tijolo) depois de produzidos foram encaminhados para uma sala climática no DEC-FCT/UNL, para iniciar o processo de cura em ambiente controlado. Durante o desenvolvimento deste trabalho, com excepção do dia de alguns ensaios, os provetes estiveram sujeitos a uma temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e humidade relativa de  $65 \pm 5\%$  (Figura 3.17a). Além disso, durante os 5 primeiros dias posteriores à sua conclusão, e ainda no interior dos moldes, os provetes foram sujeitos a uma aspersão diária o mais uniforme possível, enquanto nos restantes dias os provetes apenas foram mantidos nessa mesma sala, afastados entre si e sobrelevados (Figura 3.17b e Figura 3.17c), de forma a garantir iguais condições de cura em todas as suas superfícies.



Figura 3.17 – Sala climática; a) Condições do ambiente controlado; b) e c) Armazenamento e disposição dos provetes prismáticos.

Relativamente ao reboco aplicado no murete de taipa, o seu processo de cura passou pela aspersão diária, também com água, durante 5 dias após a sua conclusão. No entanto, o facto de este murete se encontrar ao ar livre impossibilita o controlo do ambiente envolvente e como tal o reboco esteve sujeito às condições ambientais existentes. Desde a aplicação do reboco até à realização dos respectivos ensaios de caracterização, que se realizaram no espaço de um mês e meio (entre finais de Setembro e início de Novembro), o clima apresentou-se variado e as condições médias de temperatura e humidade relativa encontram-se na Tabela 3.10. A totalidade de dados climáticos recolhidos encontram-se em anexo - A.4.3.



Figura 3.18 – Aspersão do reboco do murete de taipa.

Tabela 3.10 - Condições ambientais médias de temperatura e humidade relativa.

		Setembro	Outubro	Novembro
$T_{\text{média}}(^{\circ}\text{C})$	Máx	25,5	22,6	19,3
	Min	18,6	16,1	14,3
$HR_{\text{média}}(\%)$	Máx	88,4	90,2	90,6
	Min	56,7	60,3	63,4



## 4. Ensaaios de caracterização e resultados

A próxima etapa passa por caracterizar as diversas argamassas descritas no capítulo anterior. Como tal, o presente capítulo relata a etapa mais morosa deste estudo. Nos seus três subcapítulos serão descritos os ensaios realizados, cujas norma/especificação de referência estão apresentados nas Tabela 4.1, Tabela 4.2 e Tabela 4.3. Serão igualmente apresentados os resultados obtidos em cada ensaio.

Tabela 4.1 – Ensaaios realizados às argamassas em estado fresco.

Ensaaios em Estado Fresco	Norma/Especificação
Consistência por espalhamento	EN 1015-3 (CEN 1999)
Retenção de água	Fe 32 FCT-UNL/DEC e prEN 1015-8 (CEN 1999)
Massa volúmica	EN 1015-6 (CEN 1998)
Teor de ar	EN 1015-7 (CEN 1998)

Tabela 4.2 – Ensaaios realizados em estado endurecido nos provetes de argamassa prismáticos e suporte tijolo.

Ensaaios em Estado Endurecido	
Provetes Prismáticos	Norma/Especificação
Massa volúmica aparente	EN 1015-10 (CEN 1999)
Condutibilidade térmica	Especificação do Equipamento
Módulo de elasticidade dinâmico	EN 14146 (CEN 2007)
Resistência à tração por flexão	EN 1015-11 (CEN 1999)
Resistência à compressão	EN 1015-11 (CEN 1999)
Absorção de água por capilaridade	EN 1015-18 (CEN 2002) e EN 15801 (CEN 2009)
Secagem	Test No. II.5 (RILEM 1980)
Porosidade aberta e Massa volúmica aparente	NP EN 1936 (IPQ 2008)
Velocidade de propagação de ultra-sons	Fe Pa 43 LNEC
Resistência aos sulfatos	NP EN 12370 (IPQ 2001)
Provetes sobre Tijolo	Norma/Especificação
Velocidade de propagação de ultra-sons	Fe Pa 43 LNEC
Dureza superficial por durómetro	ASTM D2240
Absorção de água sob baixa pressão	Fe Pa 39 LNEC
Condutibilidade térmica	Especificação do Equipamento

Tabela 4.3 - Ensaios de caracterização e ao reboco em estado endurecido no murete de taipa.

Ensaios no Murete de Taipa	
Caracterização da taipa	Norma/Especificação
Dureza superficial por esclerómetro	ASTM C805
Dureza superficial por durómetro	ASTM D2240
Absorção de água sob baixa pressão	Fe Pa 39 LNEC
Condutibilidade térmica	Especificação do Equipamento
Reboco aos 28 dias	Norma/Especificação
Dureza superficial por esclerómetro	ASTM C805
Dureza superficial por durómetro	ASTM D2240
Absorção de água sob baixa pressão	Fe Pa 39 LNEC

#### 4.1. Ensaios em estado fresco

Imediatamente após a conclusão do procedimento descrito no ponto 3.3.1, processo de amassadura, deu-se início à execução dos ensaios em estado fresco. Os ensaios em estado fresco efectuados no âmbito desta dissertação foram realizados pela seguinte ordem: consistência por espalhamento, retenção de água, massa volúmica e teor em ar. Em virtude do volume de provetes necessários e do volume da cuba de amassadura, foram realizadas duas amassaduras de cada argamassa formulada. Os ensaios de consistência por espalhamento e retenção de água foram realizados em ambas as amassaduras, enquanto os ensaios de massa volúmica e teor de ar apenas foram efectuados uma vez.

##### 4.1.1. Consistência por espalhamento

O valor da consistência por espalhamento quantifica a fluidez e/ou grau de molhagem das argamassas frescas, dando uma indicação sobre a deformabilidade dessas argamassas quando submetidas a um determinado tipo de tensão (Faria 2004). Num contexto mais prático pode-se afirmar que este ensaio avalia a influência da água na trabalhabilidade de uma argamassa em estado fresco, ou seja, a facilidade com que uma argamassa é aplicada no suporte pelo operador. Esta determinação realizou-se com base na norma EN 1015-3 (CEN 1999).

Para se dar início ao ensaio foi necessário, previamente, limpar a mesa de ensaio e humedecer todo o material a utilizar, nomeadamente um molde troncocónico, uma régua metálica, um pilão e uma craveira (Figura 4.1a). Seguidamente colocou-se o molde o mais centrado possível na mesa de espalhamento e com o auxílio de uma colher de pedreiro foi colocada a primeira camada de argamassa fresca a ensaiar (a uma altura de pouco mais de metade do molde). Foram realizadas 20 inserções de um pilão de 15 mm de diâmetro e de seguida colocou-se a última camada de argamassa (a uma altura superior à do molde), com nova execução das 20 inserções do pilão (Figura 4.1b). Rasou-se a

superfície do molde com uma régua metálica ou uma colher de pedreiro (Figura 4.1c) e retirou-se o molde para, de seguida, ser rodada a manivela da mesa e serem dadas 15 pancadas em 15 segundos (Figura 4.2a e Figura 4.2b). Por fim, e com o auxílio de uma craveira, mediram-se os diâmetros opostos da argamassa espalhada, segundo os eixos da mesa, e determinou-se a sua média (Figura 4.2c).



Figura 4.1 – Consistência por espalhamento; a) Material; b) Compactação com o pilão; c) Razagem do molde.



Figura 4.2 – Consistência por espalhamento; a) Aspecto após o molde ser retirado; b) Aspecto após as 15 pancadas; c) Medição do diâmetro da argamassa.

Tendo em conta que o presente trabalho se encontra na sequência de projectos anteriores (Faria 2011) e inserido num outro, houve alguma preocupação para que o espalhamento das diversas argamassas fosse da ordem dos  $150 \pm 10 \text{ mm}$ , mas nunca pondo em causa a sua trabalhabilidade. Esse facto é visível na Figura 4.3 e Figura 4.4, com excepção da argamassa CL2\_25t(L) que apresenta um valor de consistência por espalhamento inferior a 140 mm (Figura 4.3), mas que apresentava boa trabalhabilidade. Por essa razão foi decidido aceitá-la mesmo com valor de espalhamento ligeiramente abaixo da gama definida. A introdução de água no processo de amassadura tem grande influência nos resultados do ensaio de espalhamento, como tal é de extrema importância conhecer a relação água/terra de cada argamassa e cruzá-la com os respectivos valores de espalhamento.

Na Figura 4.3 e Figura 4.4 apresenta-se o valor médio e desvio-padrão dos resultados dos ensaios de espalhamento realizados a cada argamassa em comparação com a sua relação água/terra.

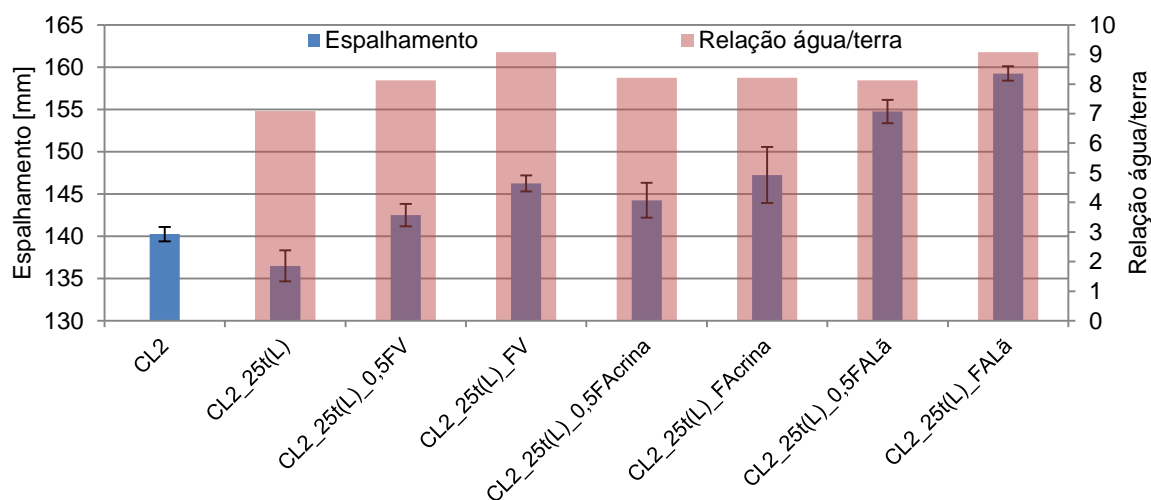


Figura 4.3 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a relação água/terra – Traço 1:2.

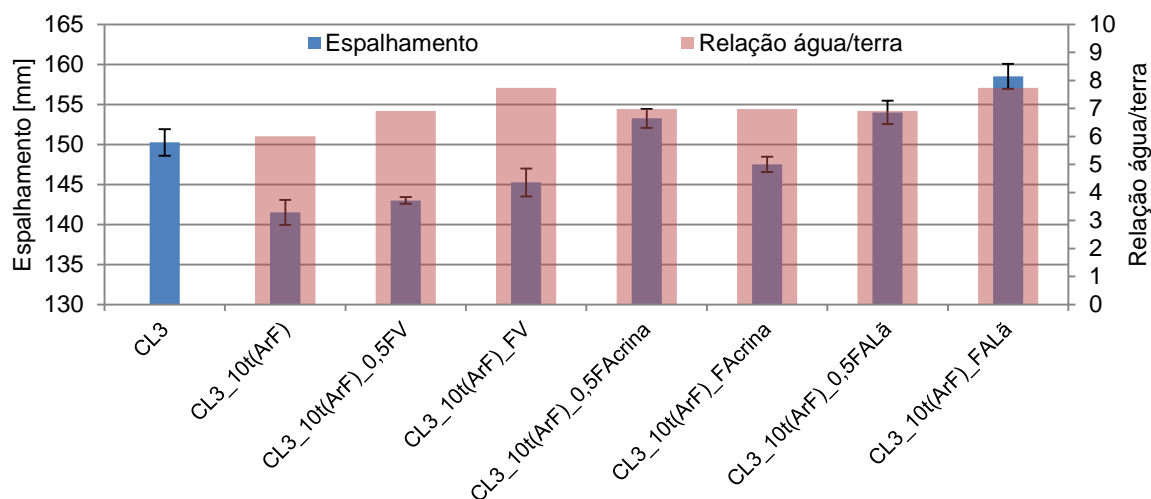


Figura 4.4 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a relação água/terra – Traço 1:3.

Pela observação da Figura 4.3 depreende-se que, ao substituir-se ligante (cal) por terra argilosa, o espalhamento da argamassa diminui comparativamente à argamassa de referência CL2. Tal como pela Figura 4.4 se pode perceber que a substituição de agregado fino por terra argilosa diminui o valor do espalhamento relativamente ao valor obtido para a argamassa de referência sem terra.

Analisando a comparação entre a consistência por espalhamento e a relação água/terra verifica-se que são características directamente proporcionais, mas que o tipo de fibra tem grande influência no comportamento da argamassa. Pode-se assim concluir que introdução de fibras vegetais nas argamassas permite controlar o seu espalhamento, mesmo para uma grande relação água/terra. Em sentido contrário, a introdução de fibras animais, para a mesma relação água/terra, traduz-se em valores de espalhamento muito superiores aos anteriores.

As variações dos valores da relação água/terra das argamassas com traço 1:3 mantiveram-se semelhantes às análogas de traço 1:2 e como tal o comportamento apresentado foi semelhante. Quanto ao maior valor de espalhamento, este verificou-se sempre nas argamassas que contêm lã de ovelha, nomeadamente nas argamassas com maior dosagem deste tipo de fibra.

Por fim, a excepção foi o comportamento das argamassas que contêm crina de cavalo, uma vez que mantiveram sempre a relação água/terra, mas apresentaram comportamentos opostos nos dois traços estudados.

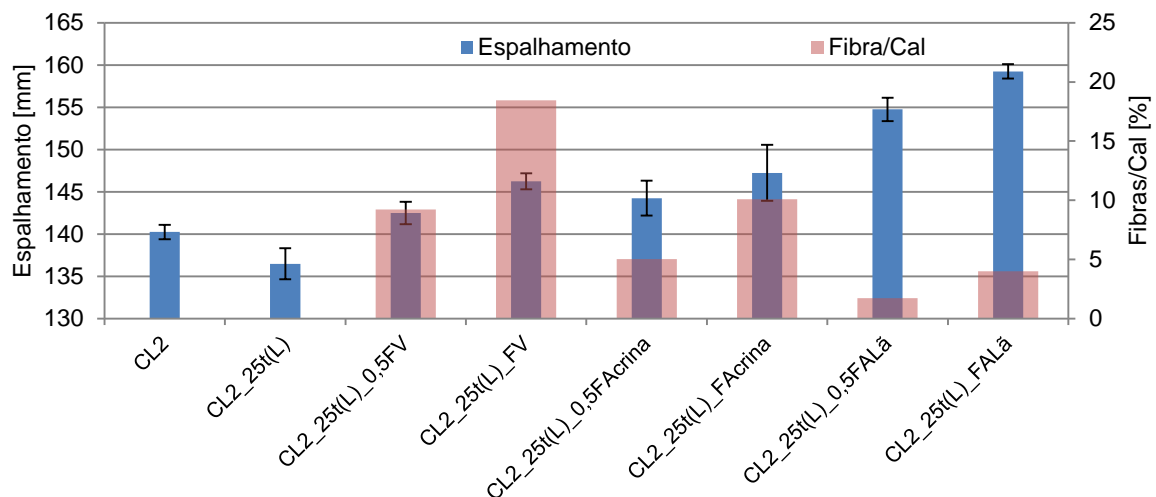


Figura 4.5 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a percentagem de massa de Fibra/massa de Cal – Traço 1:2.

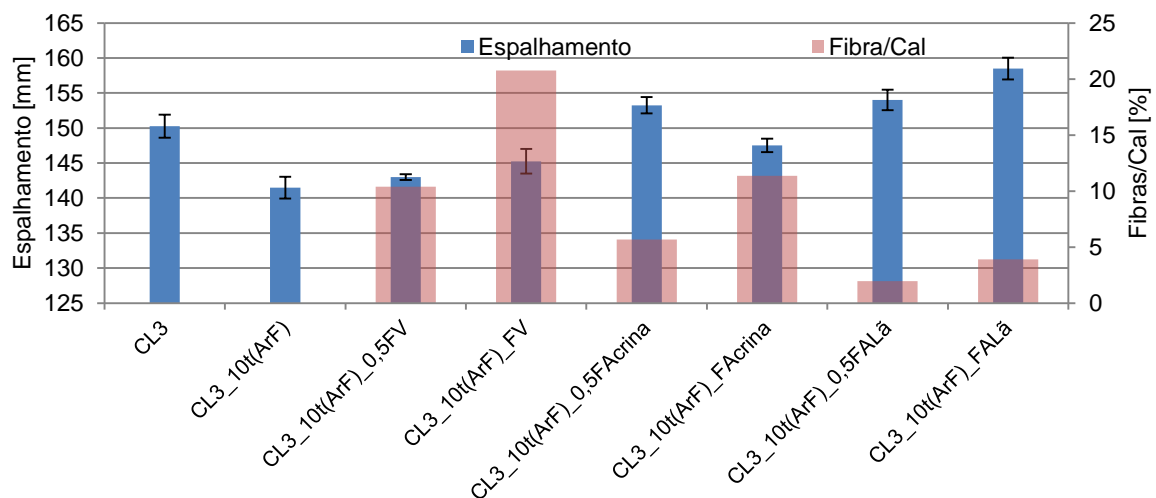


Figura 4.6- Comparação entre a consistência por espalhamento e a percentagem de massa de Fibra/massa de Cal – Traço 1:3.

Como se pode comprovar pela Figura 4.5 e Figura 4.6 o incremento da quantidade de fibras numa argamassa aumenta o seu espalhamento, à excepção da CL3\_10t(ArF)\_FAcrina. Para além disso, o

facto da percentagem de massa de fibras em relação à massa de cal ser muito superior nas argamassas de fibras vegetais, não condiciona, na mesma proporção, o seu espalhamento.

#### 4.1.2. Retenção de água

A capacidade de retenção de água por parte de uma argamassa é uma característica fundamental, uma vez que a cal aérea necessitada da água para o transporte do CO<sub>2</sub> e para que a secagem não seja tão rápida que provoque grandes retracções, condicionando o desempenho efectivo dos seus constituintes e condições de aplicação. Para além disso é uma característica que influencia a escolha de uma argamassa de revestimento, em função das condições de ambiente e de suporte, com o intuito de facilitar a sua aplicação e aumentar a durabilidade.

Quanto ao procedimento de ensaio, ainda com a massa fresca, determinou-se a retenção de água com base na ficha de ensaio FE 32 UNL/DEC (Henriques 2000) e a norma prEN 1015-8 (CEN 1999). O material necessário para a execução do ensaio foi: um molde metálico cilíndrico com 100 mm de diâmetro e 25 mm de altura, um peso de 2 kg, um cronómetro, uma placa de vidro de secção quadrada, gaze de algodão e papéis de filtro circulares.

Inicialmente pesou-se, com uma balança de precisão de 0,001 g, 20 folhas de papel de filtro,  $m_f$ , e um molde metálico cilíndrico,  $m_v$ . De seguida encheu-se o mesmo molde com argamassa fresca, rasando-se a superfície com uma régua metálica (Figura 4.7a) e finalmente determinou-se a massa do conjunto,  $m_c$  (molde + argamassa). Cobriu-se a superfície da argamassa com gaze de algodão e por cima desta colocaram-se vinte papéis de filtro. Seguidamente, cobriu-se o conjunto com uma placa de vidro (Figura 4.7b) e inverteu-se sobre uma superfície plana. Sobre este colocou-se o peso de 2 kg e controlou-se o tempo decorrido com um cronómetro (Figura 4.8a). Ao fim de 5 minutos retirou-se o peso e colocou-se o molde na posição inicial (Figura 4.8b); retirou-se o restante material e finalmente determinou-se a massa do conjunto de vinte papéis de filtro,  $m_h$  (Figura 4.8c). A massa de água utilizada na argamassa colocada no molde,  $m_a$ , foi determinada com base em:

$$m_a = \frac{ag \times (mc - mv)}{\sum_{i=1}^n ci + ag}$$

Equação 4.1

em que

$m_a$  - massa de água utilizada na argamassa colocada no molde;

$ag$  - massa de água utilizada na amassadura da argamassa;

$ci$  - massa de cada um dos outros constituintes da argamassa;

$m_c$  - massa do molde com a argamassa;

$m_v$  - massa do molde vazio.

Quanto à percentagem de água retida, a sua determinação baseou-se em:

$$R = \frac{ma - (mh - mf)}{ma} \times 100 (\%)$$

Equação 4.2

em que

ma - massa de água utilizada na argamassa colocada no molde;

mh - massa dos oito papéis de filtro passados os 10 minutos;

mf - massa dos oito papéis de filtro.



Figura 4.7 – Retenção de água; a) Razagem do molde; b) Colocação da gaze, dos papéis de filtro e da placa de vidro.



Figura 4.8 – Retenção de água; a) Inversão do conjunto; b) Remoção do peso e recolocação na posição inicial; c) Pesagem do conjunto de papéis de filtro.

Uma característica comum a todas as argamassas em estudo foi o elevado valor de retenção de água, com valores entre 84,0% e 93,3%, como se pode constatar pelas figuras que se seguem (Figura 4.9 e Figura 4.10).

As argamassas com base no traço 1:2 revelaram grande coerência nos resultados obtidos no ensaio de retenção de água, com exceção das argamassas de lã de ovelha que apresentam o valor mais baixo de todos em relação à referência. Opostamente encontra-se a argamassa CL2\_25t(L)\_FV como a argamassa com maior capacidade de retenção de água e como sendo a única argamassa com fibras que aumenta a quantidade de água retida, relativamente à argamassa de referência CL2\_25t(L) (Figura 4.9).

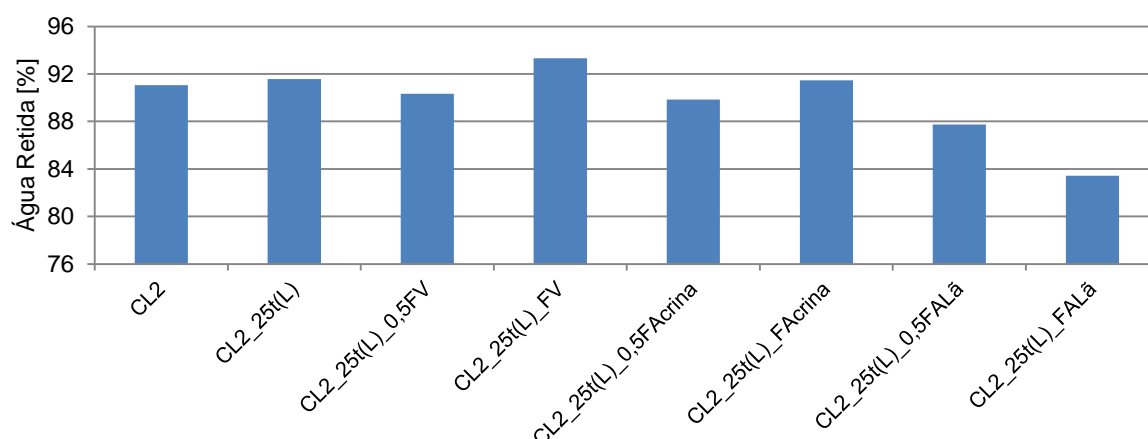


Figura 4.9 – Retenção de água – Argamassas com base no traço 1:2.

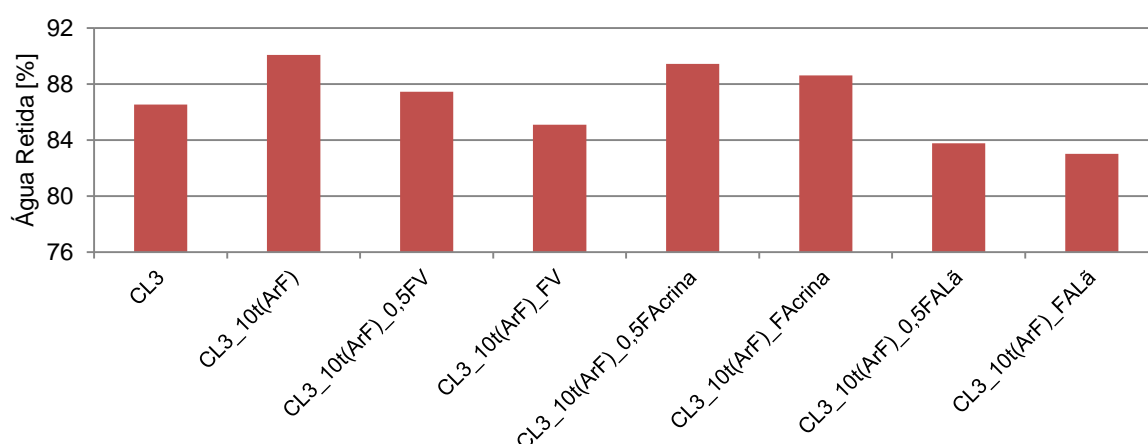


Figura 4.10 - Retenção de água – Traço 1:3.

Quanto às argamassas de traço 1:3 o comportamento das argamassas com lã de ovelha manteve-se e estas representam as argamassas com menor capacidade de reter água. Na Figura 4.10 é mais visível o aumento de capacidade de retenção de água por parte das argamassas, com a introdução de terra. Por fim, pode-se concluir que a introdução de fibras nas argamassas piora a sua capacidade de reter água; no entanto todas elas apresentam retenção de água elevada, o que indica bom comportamento face a condições atmosféricas adversas aquando da aplicação, e a suportes muito absorventes (Faria 2004).

As argamassas com base no traço 1:2 apresentam, na sua generalidade, maiores valores de retenção quando comparadas com as argamassas com base no traço 1:3.



### 4.1.3. Massa volúmica

De modo a avaliar o efeito da introdução de diferentes tipos de fibras naturais em argamassas com terra realizou-se, ainda com a argamassa fresca, um ensaio tendo por base a norma EN 1015-6 (CEN 1998) com o objectivo de determinar a massa volúmica das diferentes argamassas em estudo.

Para a realização deste ensaio foi necessário um recipiente, com 1 dm<sup>3</sup> de volume, V, uma balança com precisão de 0,1 g e uma colher de pedreiro. Primeiro que tudo foi necessário pesar o recipiente vazio, M<sub>r</sub>, e só de seguida foi colocada argamassa no seu interior até cerca de metade da sua capacidade. Seguidamente procedeu-se à sua compactação através da oscilação do recipiente em várias direcções, deixando o recipiente apoiado apenas de um lado, levantando-se o lado oposto e deixando-se cair livremente. Posto isto, perfez-se o recipiente com argamassa até acima do seu topo e compactou-se novamente de igual forma. Por fim rasou-se o recipiente com uma colher de pedreiro, para retirar a argamassa em excesso, e pesou-se o conjunto (argamassa + recipiente), M<sub>r+a</sub>. Como tal, o valor da massa volúmica das argamassas em estado fresco foi obtido com base em:

$$\rho = \frac{M_{r+a} - M_r}{V} [\text{kg/m}^3]$$

Equação 4.3

onde

$\rho$  – massa volúmica da argamassa no estado fresco [kg/m<sup>3</sup>];

M<sub>r+a</sub> - massa do recipiente cilíndrico totalmente preenchido com argamassa [kg];

M<sub>r</sub> - massa do recipiente cilíndrico [kg];

V - volume do recipiente cilíndrico, 1 dm<sup>3</sup>.



Figura 4.11 – Massa volúmica; a) Recipiente vazio; b) Recipiente cheio e rasado.

A determinação da massa volúmica das argamassas com crina de cavalo não foi efectuada, como se pode observar nas Figura 4.12 e Figura 4.13. Isto deveu-se ao facto do material disponível para a determinação do teor de ar não funcionar com as argamassas de crina de cavalo, o que levou ao não enchimento do respectivo recipiente que também determinaria a massa volúmica das diferentes argamassas com crina de cavalo. A introdução deste tipo de fibras não permitiu vedar correctamente o equipamento necessário para execução do ensaio, como tal apenas serão apresentados resultados correspondentes às argamassas de referência, com fibras vegetais e com lã de ovelha.

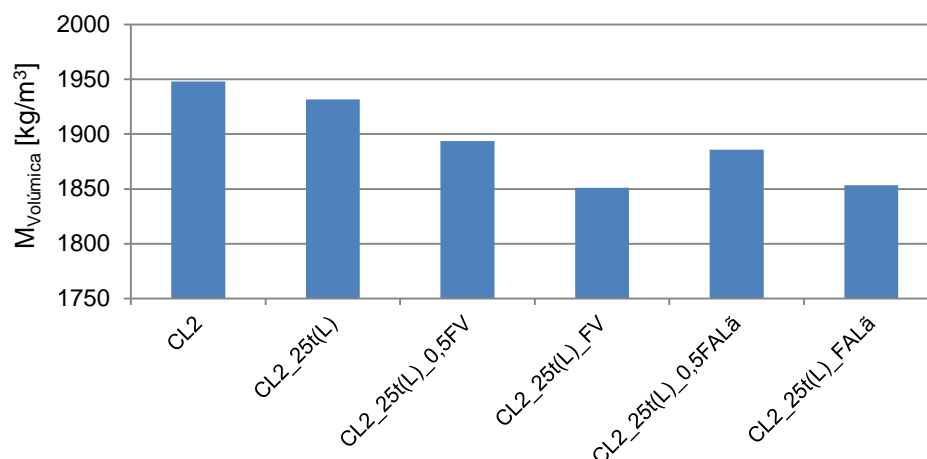


Figura 4.12 – Massa volúmica – Argamassas com base no traço 1:2.

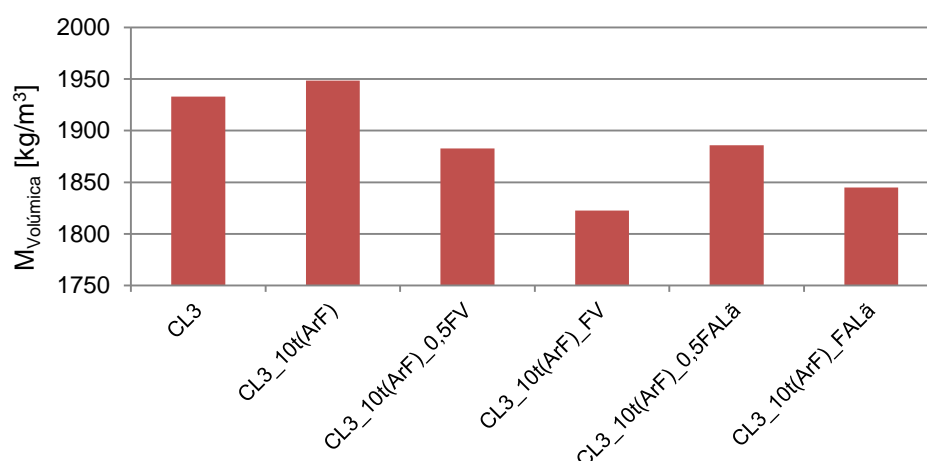


Figura 4.13 - Massa volúmica - Argamassas com base no traço 1:3.

Em ambos os traços, o valor da massa volúmica situa-se entre os 1820 e 1950  $kg/m^3$ . Nas argamassas de traço 1:2 a massa volúmica diminui ligeiramente com a substituição por terra e acentua-se ainda mais essa diminuição com a introdução de fibras. As argamassas com maior quantidade de fibras têm menor massa volúmica que as análogas com metade dessa massa de fibras. Sendo assim, a argamassa de traço 1:2 com maior massa volúmica é a CL2 e a com menor massa volúmica é CL2\_25t(L)\_FV, com valor praticamente idêntico à CL2\_25t(L)\_FALã.

Quanto às argamassas com traço 1:3 a massa volúmica aumenta com a substituição por terra, mas diminui com a introdução de fibras. À imagem das argamassas de traço 1:2, nestas também se verifica que quanto maior a quantidade de fibras, menor o valor da massas volúmica. Posto isto, a argamassa de traço 1:3 com maior massa volúmica é a CL3 e a com menor massa volúmica é a CL3\_25t(ArF)\_FV.

Em suma das Figura 4.12 e Figura 4.13 constata-se que as argamassas sem fibras são as que apresentam massas volúmicas superiores. As argamassas com fibras com maior redução de massa volúmica são as com fibras vegetais. Este facto já era expectável, dado que a baixa baridade das fibras introduzidas, para o mesmo volume, reduz a massa de argamassa fresca.

#### 4.1.4. Teor de ar

O último ensaio realizado com argamassa em estado fresco foi o da determinação do teor de ar e teve como base a norma EN 1015-7 (CEN 1998) e a sua realização surge na sequência do ensaio descrito no ponto anterior. Sendo assim, após a pesagem do recipiente referido anteriormente, limpam-se os bordos do recipiente com um pano húmido de modo a ser possível selar o conteúdo correctamente. De seguida colocou-se a tampa do equipamento para determinação do teor em ar sobre o recipiente, fixando-a lateralmente com a ajuda de uns grampos (Figura 4.14a). Este equipamento possui duas válvulas que nesta fase se mantiveram abertas e com o esguicho introduziu-se água por uma das válvulas até que esta saísse pela outra válvula sem nenhuma bolha, por forma a expulsar o ar aprisionado no interior da argamassa. Seguidamente bombeou-se ar para o reservatório superior até que o ponteiro do manómetro parasse um pouco abaixo do zero, ajustando depois este para o zero (Figura 4.14b). Fecharam-se as duas válvulas e pressionou-se a válvula de escape até que o ponteiro estabilizasse. Por fim, leu-se e registou-se o valor indicado pelo ponteiro do manómetro como sendo o valor do teor de ar incorporado (Figura 4.14c).

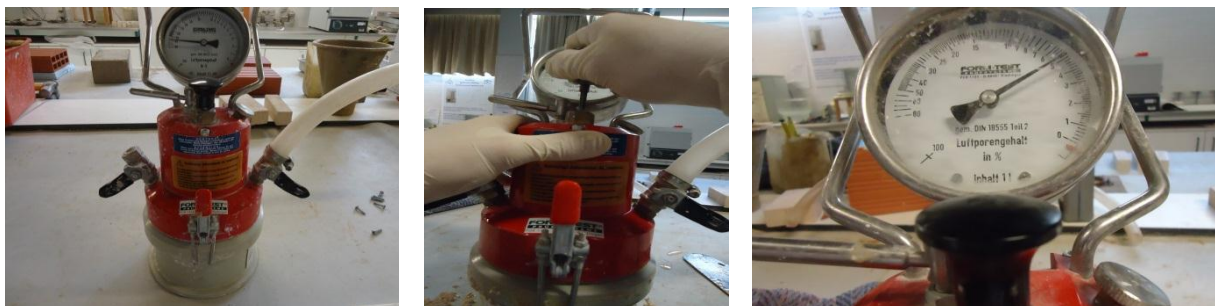


Figura 4.14 – Teor de ar; a) Equipamento; b) Bombeamento de ar para o reservatório; c) Leitura do valor final.

Como referido no ponto 4.1.3, não foi efectuado o ensaio do teor de ar para as argamassas com crina de cavalo; como tal nas Figura 4.15 e Figura 4.16 apenas serão apresentados os valores das restantes argamassas. Os valores do teor de ar situam-se entre os 3,2% e os 5%.

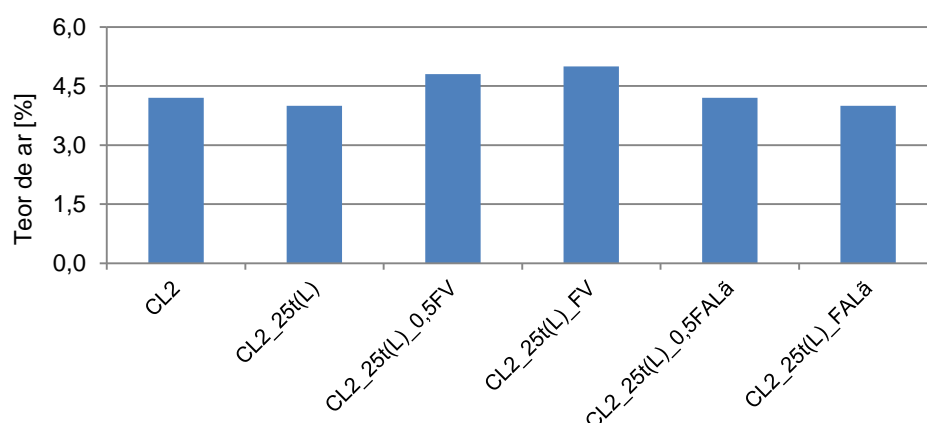


Figura 4.15 – Teor de ar – Argamassas com base no traço 1:2.

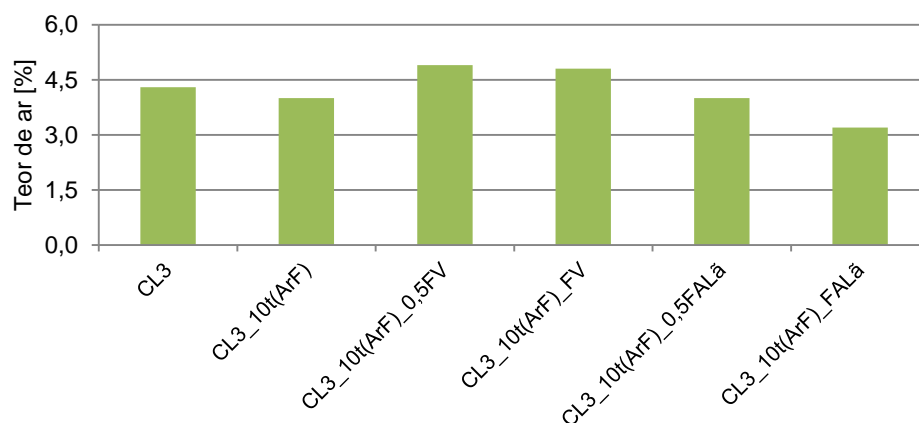


Figura 4.16 - Teor de ar – Argamassas com base no traço 1:3.

Pela apreciação geral das figuras anteriores pode-se concluir que o comportamento das argamassas, apesar de terem traços diferentes, apresentam inúmeras semelhanças, tal como os gráficos sugerem. Em ambos os casos a introdução de terra revela-se praticamente irrelevante para o valor de teor de ar, enquanto que a introdução de fibras vegetais promove um aumento no valor do teor de ar das argamassas na ordem de 1%. A única exceção é a argamassa CL3\_10t(ArF)\_FALã que, ao contrário das restantes argamassas, diminui o valor do teor de ar, chegando mesmo a ser a argamassa que apresenta menor valor de teor de ar. Por oposição, a argamassa que apresenta maior valor de teor de ar é a CL2\_25t(L)\_FV.

## 4.2. Ensaios em estado endurecido

Uma vez terminados os ensaios em estado fresco e passado o respectivo tempo de cura, a caracterização dos provetes das argamassas prosseguiu para os ensaios em estado endurecido. Como referido no ponto 3.4 apenas foi efectuado um tipo de cura, à temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e humidade relativa de  $65 \pm 5\%$ , mas com aspersão diária com água durante os primeiros dias. Realizaram-se ensaios a três idades diferentes: 28, 90 e 180 dias.

#### 4.2.1. Provete prismático de argamassa

Como se pode ver na Tabela 4.4, aos 28 dias de cura não foram realizados os ensaios destrutivos (resistência à tração por flexão e à compressão), impedindo desta forma a realização dos ensaios subsequentes. Esta decisão foi tomada com base no pressuposto que, nas argamassas de cal aérea, as reacções de carbonatação aos 28 dias ainda podem ser insuficientes e, como tal, os resultados que se obteriam nesta idade não correspondem a uma argamassa num estado devidamente endurecido, ou seja, com as reacções de carbonatação convenientemente avançadas.

Tabela 4.4 – Idades a que foram realizados os ensaios em provetes prismáticos.

Ensaio em Provete Prismático	28 dias	90 dias	180 dias
Massa volúmica aparente*	✓	✓	✓
Condutibilidade térmica	✓	✓	✓
Velocidade de propagação de ultra-sons	✓	✓	✓
Módulo de elasticidade dinâmico	✓	✓	✓
Resistência à tração por flexão	X	✓	✓
Resistência à compressão	X	✓	✓
Absorção de água por capilaridade	X	✓	✓
Secagem	X	✓	✓
Porosidade aberta e Massa volúmica	X	✓	✓
Resistência aos sulfatos	X	✓	✓

\*Este ensaio foi também realizado aos 7 dias (dia da desmoldagem dos provetes).

Os primeiros ensaios a serem realizados foram os não destrutivos, começando pela determinação da massa volúmica aparente, a condutibilidade térmica, a velocidade de propagação de ultra-sons e finalmente o módulo de elasticidade dinâmico. Os ensaios destrutivos que se seguiram apenas foram efectuados aos 90 e 180 dias de idade e a sua sequência pode ser facilmente percebida através da observação da Figura 4.17.

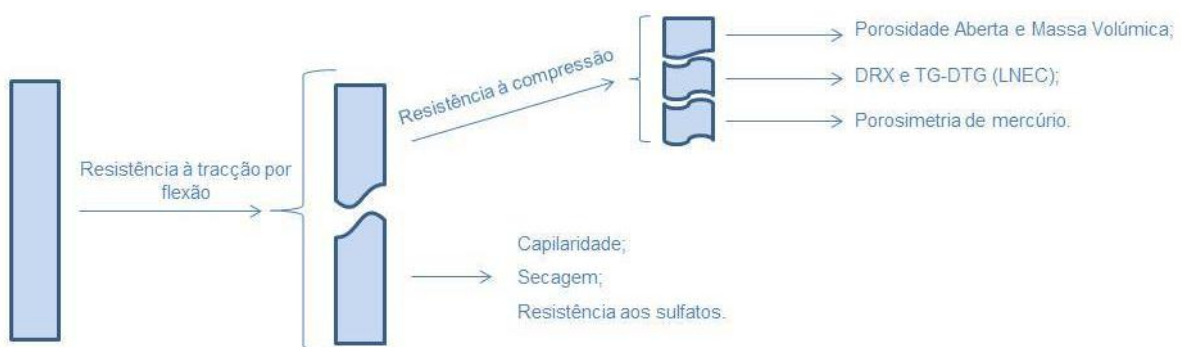


Figura 4.17 – Sequência de ensaios após destruição dos provetes.

Os provetes para os ensaios químicos (DRX e TG-DTG) e a porosimetria de mercúrio foram acondicionados mas não foram realizados no âmbito desta dissertação, estando definidos como trabalhos futuros.

#### 4.2.1.1 Massa volúmica aparente

O primeiro ensaio realizado aos provetes prismáticos foi a determinação da sua massa volúmica através da medição das suas três dimensões (comprimento, largura e altura) e da sua massa, aos 7, 28, 90 e 180 dias de idade. Este ensaio foi o único efectuado aos 7 dias de idade, que corresponde ao dia da sua desmoldagem, permitindo desta forma perceber a evolução das alterações dimensionais dos provetes desde esse dia. Para tal, foi necessário uma craveira electrónica (Figura 4.18a) com precisão 0,01 mm que permitiu determinar o comprimento **L**, duas larguras (uma medida na parte superior, **a<sub>1</sub>**, e outra na parte inferior, **a<sub>2</sub>**) e a altura **b** de cada um dos provetes prismáticos (Figura 4.18b). Por fim foi obtida a massa **m** de cada provete numa balança de precisão 0,001 g (Figura 4.18c). Desta forma, a massa volúmica foi determinada com base em:

$$M_v = \frac{m}{L \times b \times a_{média}} [kg/m^3]$$

Equação 4.4

onde

$M_v$  - massa volúmica aparente [ $kg/m^3$ ];

$L$  - comprimento do provete prismático [m];

$b$  - altura do provete prismático [m];

$a_{média}$  - ( $a_{média} = \frac{a_1 + a_2}{2}$ ) média das larguras do provete prismático [m].

Realça-se que os valores das dimensões e massa dos provetes aos 28, 90 e 180 dias foram mais tarde utilizados no ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico



Figura 4.18 – Massa volúmica; a) Craveira digital; b) Medição da largura do provete, **a<sub>1</sub>**; c) Pesagem do provete.

Uma vez que as dimensões dos provetes não são totalmente regulares, nem as suas faces perfeitamente lisas, a determinação da massa volúmica aparente pelo método descrito anteriormente está associada a uma série de erros de medição que tornam os resultados um pouco incertos, mas ainda assim passíveis de análise e comparação com outros ensaios.

Nas Figura 4.19 e Figura 4.20 encontram-se os valores da massa volúmica aparente em forma de gráfico para os 7, 28, 90 e 180 dias de idade, em termos de valor médio e desvio padrão. Uma característica comum a praticamente todas as argamassas é o facto de aos 7 dias a massa volúmica de

cada argamassa ser sempre superior ao valor da mesma característica em idades mais avançadas. Isto pode ser explicado com a forte presença de humidade ainda no seio da argamassa ao fim de apenas 7 dias do processo de cura.

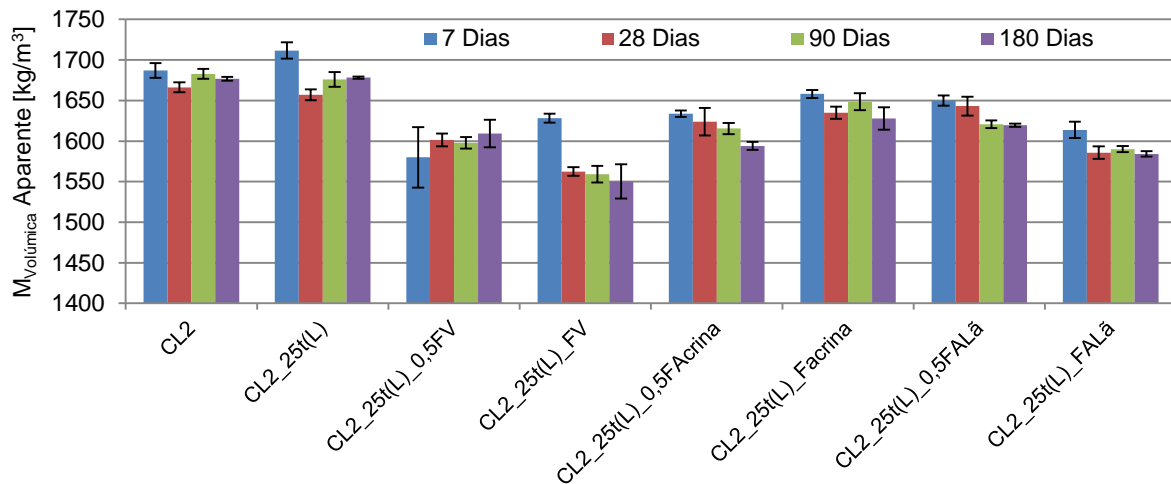


Figura 4.19 - Massa Volúmica Aparente – Argamassas com base no traço 1:2.

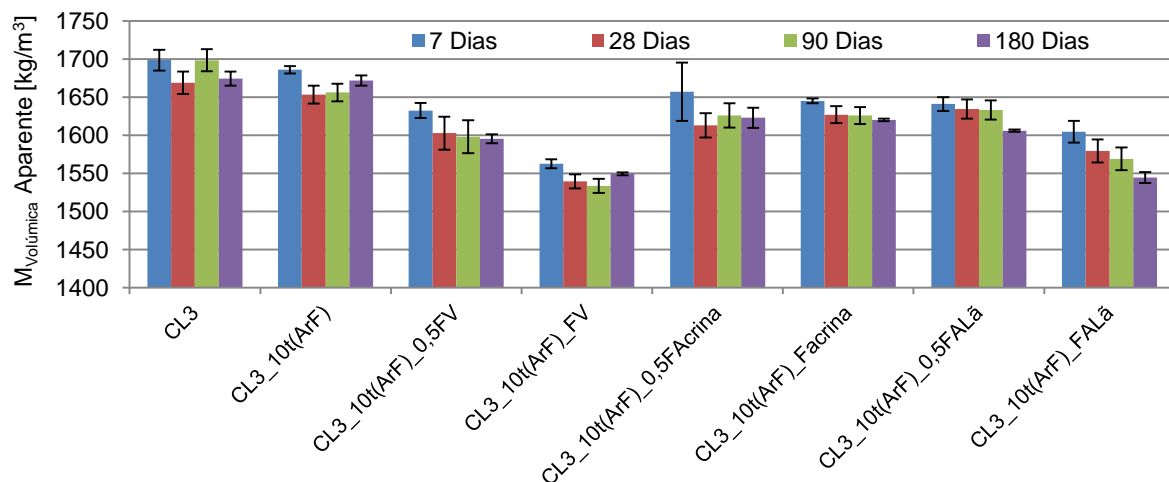


Figura 4.20 – Massa Volúmica Aparente – Argamassas com base no traço 1:3.

Tirando o facto referido anteriormente, é também visível pelas figuras anteriores que a massa volúmica das argamassas, de ambos os traços, tem a tendência a aumentar com o decorrer do tempo, a partir dos 28 dias de idade. Esta situação também era expectável considerando a perda inicial de humidade e diminuição da massa volúmica, até aos 28 dias, mas depois um aumento de massa volúmica devido ao avanço do processo de carbonatação da cal e a transformação de hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio. As excepções à regra são as argamassas que contêm lã de ovelhas, dado que a sua massa volúmica diminui com o tempo ou estabiliza entre os 90 e 180 dias. Outra característica semelhante entre traços é o facto das argamassas de referência (CL2, CL3, CL2\_25t(L) e CL3\_10t(ArF)) apresentarem os valores mais elevados de massa volúmica, enquanto as argamassas com maior dosagem de fibra vegetal exibem os valores mais reduzidos.



#### 4.2.1.2 Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) é uma característica que traduz a forma como um material se deixa atravessar pelo calor, podendo ser definida como a quantidade de calor que atravessa a unidade de espessura do material, por unidade de área, por unidade de diferença de temperatura,  $W/(m.^{\circ}C)$  (Henriques, 2007). Como tal, será sempre uma característica importante a ter em conta, uma vez que ao ser aplicada uma argamassa nas paredes de um edifício pode sempre contribuir para o aumento de conforto térmico no seu interior. Como é do conhecimento geral esse contributo é reduzido no caso de rebocos comuns. Convencionalmente, consideram-se como isolantes térmicos os materiais que apresentem uma condutibilidade térmica inferior a  $0,065 W/(m.^{\circ}C)$  e uma resistência térmica superior a  $0,030 (m^2.^{\circ}C)/W$  (Pina dos Santos 2006).

Para a execução do ensaio da condutibilidade térmica em provetes prismáticos foi utilizado o equipamento ISOMET 2104 (Heat Transfer Analyser) e a respectiva sonda de superfície API 210412, sendo o procedimento de ensaio baseado no manual do equipamento. O ensaio realizou-se na sala condicionada com  $20^{\circ}C$  de temperatura e 65% de humidade relativa. Quanto ao procedimento de ensaio, inicialmente colocou-se o provete a ensaiar em cima de uma placa de XPS, garantindo a homogeneidade da condição de fronteira inferior (Figura 4.21a). De seguida, posicionou-se a sonda sobre a face mais lisa do provete e deu-se início ao ensaio, seleccionando a opção Thermal Conductivity do equipamento. Decorridos aproximadamente 15 minutos o equipamento forneceu o resultado pretendido (condutibilidade térmica,  $\lambda [W/(m.K)]$ , Figura 4.21b). Este ensaio foi feito para todos os provetes aos 28, 90 e 180 dias de idade, com o inconveniente da área de contacto da sonda ser ligeiramente superior à face do provete (Figura 4.21c), o que aumenta o erro dos resultados. No entanto, foi respeitada a espessura mínima de 1,5 cm de material exigida pelo equipamento utilizado, o que também se verificou quando este ensaio se realizou nos provetes de argamassa em suporte tijolo (reboco com 1,5 cm).



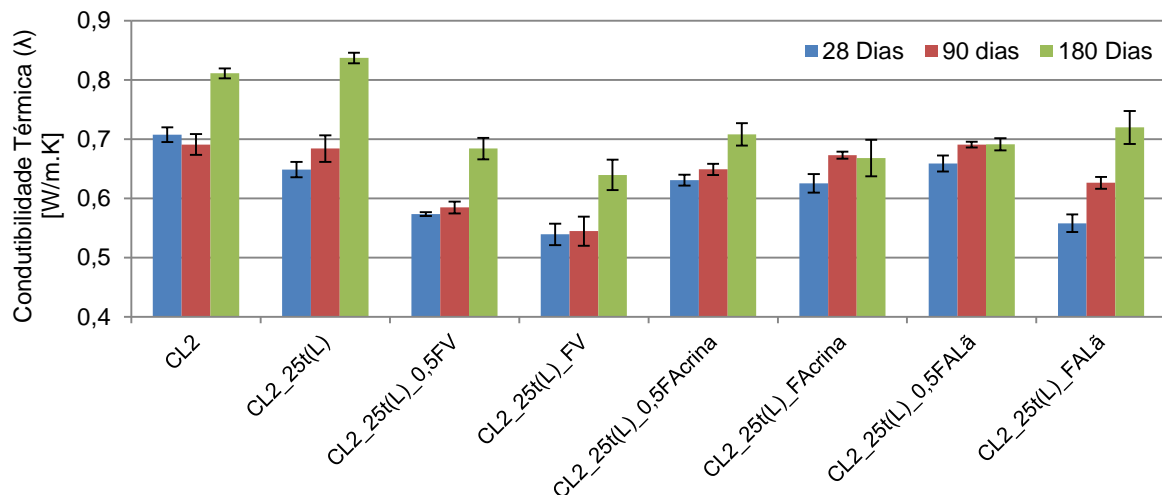
Figura 4.21 – Condutibilidade térmica em provetes prismáticos; a) Equipamento devidamente montado; b) Resultado final; c) Pormenor da falta de área de contacto.

Na Figura 4.22 e Figura 4.23 encontra-se os resultados obtidos para o ensaio de condutibilidade térmica, em termos de valor médio e desvio padrão, aos 28, 90 e 180 dias de idade. É importante referir que os resultados que se apresentam de seguida não deverão ser tomados como valores absolutos



mas apenas comparativos entre si, visto que a dimensão dos provetes utilizados não ser compatível com o tamanho da sonda do aparelho utilizado na realização do ensaio.

Posto isto, através da observação da Figura 4.22 e Figura 4.23 é possível identificar uma acentuada tendência de aumento da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) com o aumento da idade de cada argamassa em estudo. Outra característica que se identifica facilmente é que, para ambos os traços, as argamassas de referência apresentam maiores valores de condutibilidade térmica, ou seja, pior comportamento a nível térmico, e que as argamassas com fibras vegetais apresentam menores valores de condutibili-



dade térmica, desta feita apresentando o melhor comportamento a nível térmico.

Figura 4.22 - Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) – Argamassas com base no traço 1:2.

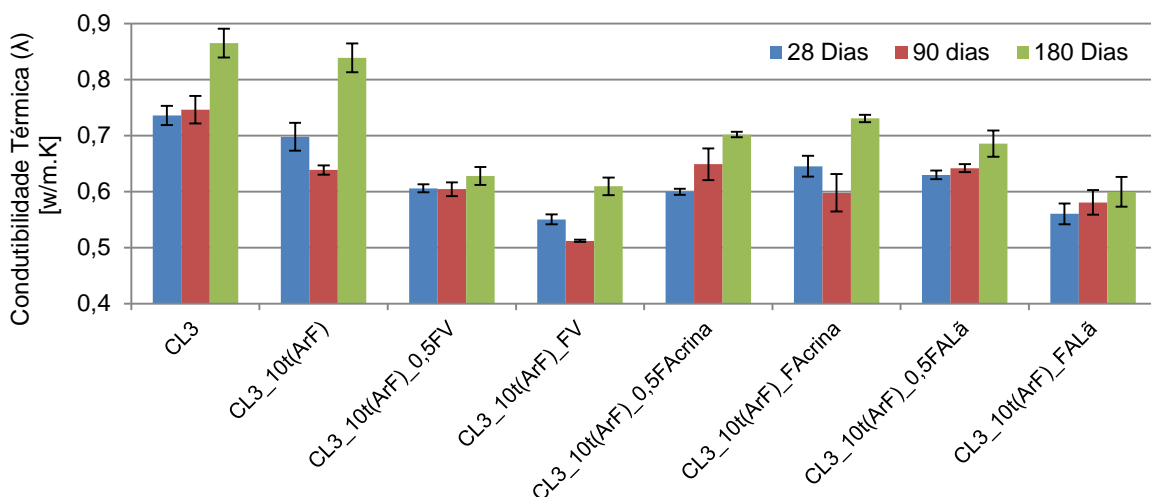


Figura 4.23 - Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) – Argamassas com base no traço 1:3.

Para as argamassas com traço 1:2 a introdução de terra não se mostra muito condicionante, uma vez que os valores de CL2 e CL2\_25t(L) apresentam-se semelhantes. Por oposição, a introdução de fibras denota um acentuado decréscimo da condutibilidade térmica transversal a todo o tipo de fibras.

Numa observação a nível mais particular conclui-se que, para o traço 1:2, a argamassa com melhor comportamento térmico é a CL2\_25t(L)\_FV, em contraste com a CL2\_25t(L) que apresenta o pior comportamento térmico, ambas aos 180 dias de idade.

No que respeita às argamassas de traço 1:3 a tendência referida anteriormente mantém-se e as argamassas de referência apresentam os maiores valores de condutibilidade térmica, enquanto a adição de fibras proporcionou um significativo decréscimo desse mesmo valor. Para este traço as argamassas que apresentam os melhores valores de  $\lambda$  são a CL3\_10t(ArF)\_FA<sub>la</sub> e o par com fibras vegetais (CL3\_10t(ArF)\_FV e CL3\_10t(ArF)\_0,5FV).

Na globalidade, os valores de  $\lambda$  variam entre 0,865 W/m.K, para a argamassa CL3 aos 180 dias de idade, e 0,512 W/m.K, para a argamassa CL3\_10t(ArF)\_FV aos 90 dias de idade, sendo estas as argamassas, respectivamente, com pior e melhor comportamento do ponto de vista térmico.

#### 4.2.1.3 Velocidade de propagação de ultra-sons

O ensaio da velocidade de propagação dos ultra-sons foi realizado com base na ficha de ensaio Fe Pa 43 (LNEC, 2010), em provetes prismáticos com 28, 90 e 180 dias de idade. A realização deste ensaio permite avaliar a compacidade da argamassa e identificar existência de fissuras, através da velocidade de propagações de ondas ultra-sónicas através do material em estudo.

O procedimento de ensaio iniciou-se com a montagem e calibração de uma máquina emissora de ultra-sons e a aplicação de um gel condutor nas pontas dos transdutores e nas duas extremidades do provete a ensaiar (Figura 4.24a e b). A colocação do gel teve como objectivo melhorar a condução dos ultra-sons entre os transdutores e o provete. Por fim, colocou-se a máquina em funcionamento e obteve-se o valor do tempo, em  $\mu s$ , que levou os ultra-sons a atravessar o provete em estudo (Figura 4.24c). Sabendo o tempo e o comprimento do provete, obteve-se a velocidade de propagação de ultra-sons com base em:

$$V_{us} = \frac{d}{t} [m/s]$$

Equação 4.5

onde

$V_{us}$  – velocidade de propagação de ultra-sons [m/s];

$d$  – distância percorrida [m];

$t$  – tempo decorrido [s].

Na sequência dos valores de velocidade de propagação de ultra-sons obtidos e passando-os de m/s para km/s, foi também possível determinar o módulo de elasticidade dinâmico para os provetes prismáticos, com base em:

$$Ed = \frac{V_{us}^2 \times \rho \times (1 + \nu) \times (1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} [MPa]$$

Equação 4.6

Onde:

 $V_{us}$  – velocidade de propagação de ultra-sons [km/s]; $\rho$  – massa volúmica do provete (determinada segundo 4.1.3) [kg/m<sup>3</sup>]; $\nu$  – coeficiente de Poisson (coeficiente de Poisson utilizado foi de 0,2) [-].

Figura 4.24 - Velocidade de propagação dos ultra-sons em provetes prismáticos; a) Calibração do equipamento; b) Aplicação do gel condutor; c) Valor final.

Os resultados obtidos pela Equação 4.6 para as diferentes argamassas em estudo encontram-se na Figura 4.25 e Figura 4.26, em termos de valor médio e desvio padrão. Os valores obtidos variam entre os 2471,67 MPa para a argamassa CL3 aos 180 dias, como extremo máximo, e 1034,54 MPa para a CL3\_10t(ArF)\_FV aos 28 dias, no extremo oposto.

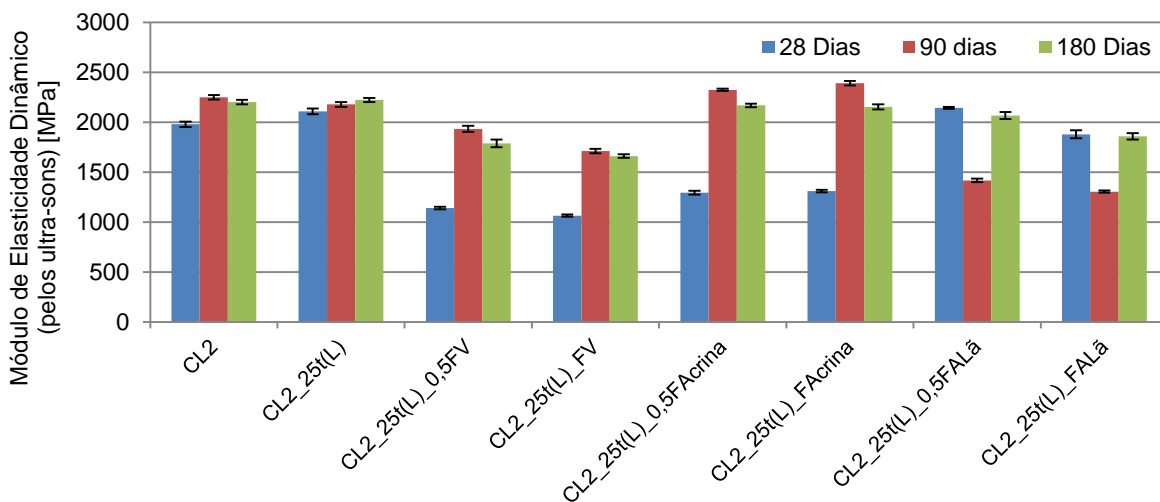
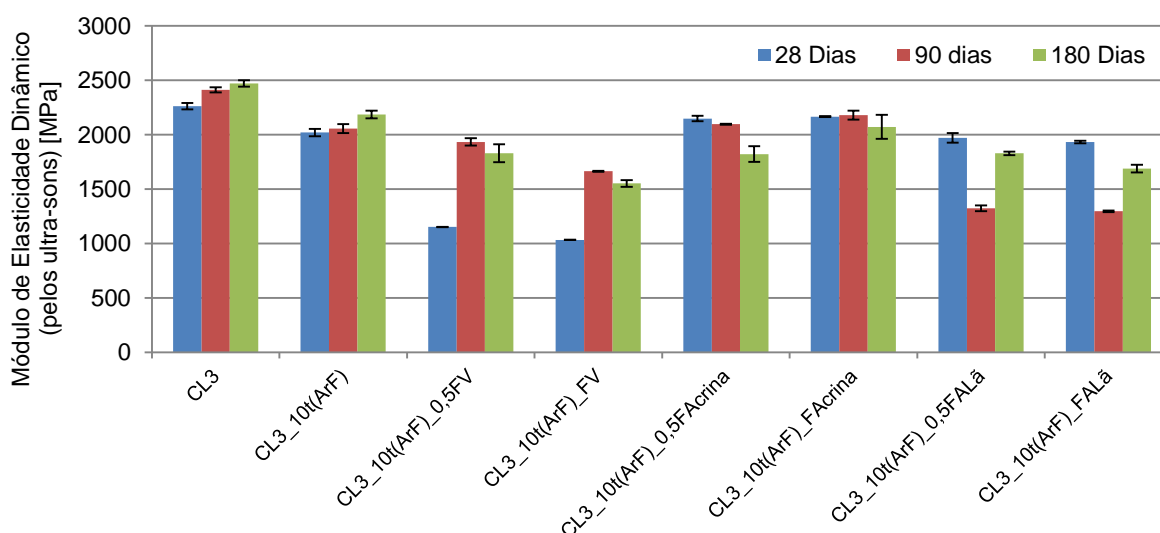


Figura 4.25 - Módulo de Elasticidade Dinâmico (pelos ultra-sons) [MPa] – Argamassas com base no traço 1:2.

Como é visível pela Figura 4.25, para as argamassas com traço 1:2, a tendência do módulo de elasticidade é aumentar dos 28 para os 90 dias e diminuir dos 90 para os 180. No entanto as argamassas que contêm lã de ovelha surgem como as exceções, apresentando um comportamento contrário às

restantes. Para além disso, essas argamassas possuem um valor de módulo de elasticidade mais elevado aos 28 dias que nas restantes idades, em discordância com as restantes argamassas em estudo. A introdução de crina de cavalo revelou-se como a fibra que confere maior módulo de elasticidade às argamassas. No lado oposto encontram-se as argamassas com fibras vegetais como as argamassas com menor valor de módulo de elasticidade. Uma vez que CL2 e CL2\_25t(L) apresentam valores muito semelhantes pode-se concluir que a introdução de terra teve pouca influência na característica em questão.

Para as argamassas de traço 1:3, através da observação da Figura 4.26, verifica-se uma tendência geral do comportamento semelhante às de traço 1:2. No entanto, a introdução de terra nestas argamassas teve um impacto mais significativo na diminuição do valor do módulo de elasticidade, embora só em cerca de 250 MPa. As fibras que apresentam os resultados mais elevados são as de crina de



cavalo e as que revelam resultados mais baixos são as de casca de arroz, tal como foi evidenciado nas argamassas de traço 1:2.

Figura 4.26- Módulo de Elasticidade Dinâmico (pelos ultra-sons) [MPa] – Argamassas com base no traço 1:3.

Por fim deve-se realçar alguma incompreensão relativamente aos resultados das argamassas com lã de ovelha aos 90 dias devido ao baixo valor apresentado, relativamente às restantes idades em estudo (28 e 180 dias). No entanto esse facto verificou-se para ambas as dosagens (0,5FA<sub>lã</sub> e FA<sub>lã</sub>) e ambos os traços.

Os resultados dos valores da velocidade de propagação de ultra-sons das argamassas aos 28, 90 e 180 dias, com a intenção de avaliar a sua compacidade, encontram-se na Figura 4.27 e na Figura 4.28. Estes apresentam tendências iguais, como seria de esperar, visto que são grandezas directamente proporcionais.

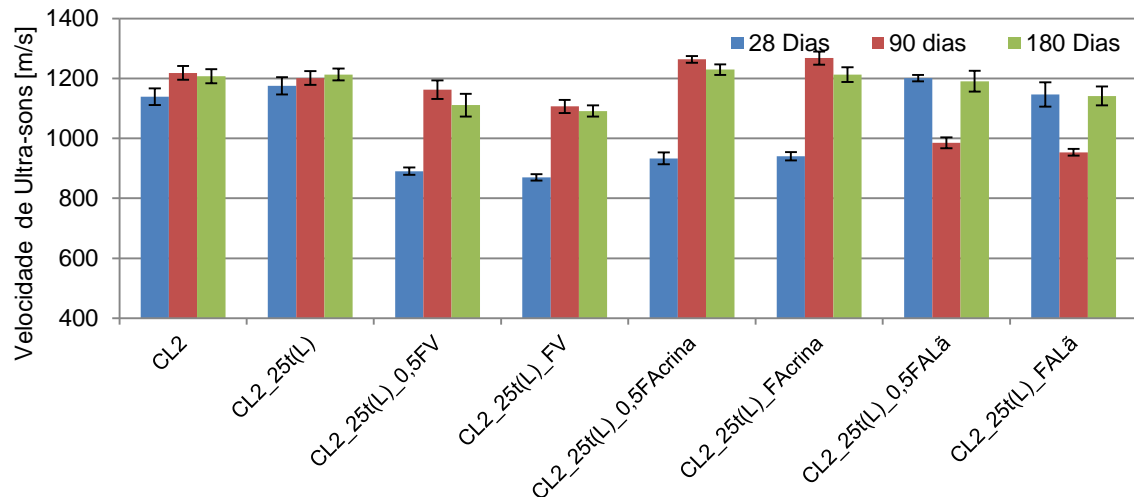


Figura 4.27 - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes prismáticos – Argamassas com base no traço 1:2.

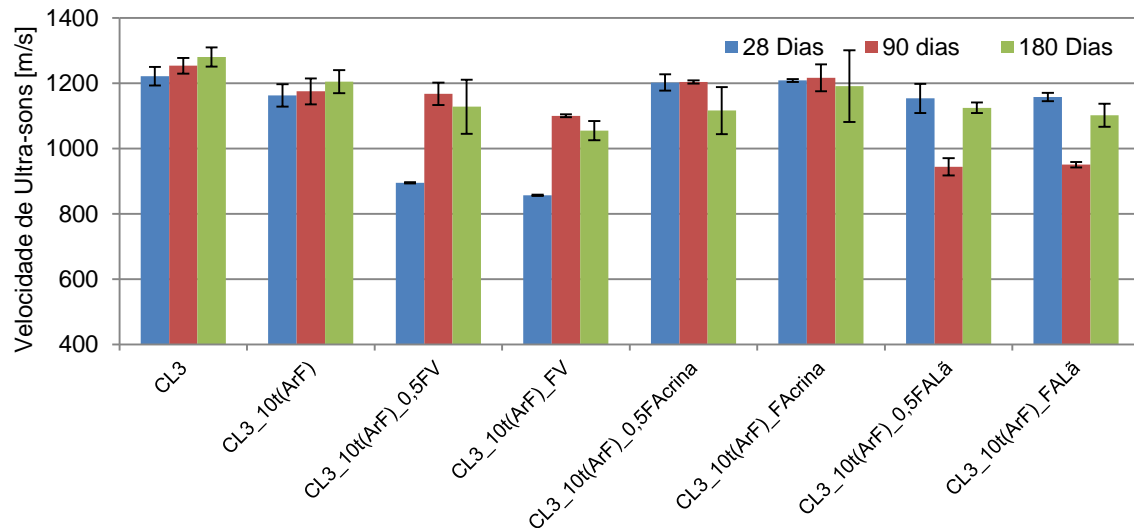


Figura 4.28 - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em prismáticos – Argamassas com base no traço 1:3.

Pela análise dos valores de velocidade de propagação de ultra-sons pode-se concluir que das argamassas com fibras, as que contêm fibras vegetais são as que apresentam menor compacidade, enquanto as argamassas com crina de cavalo são as únicas que se verifica um ligeiro aumento de compacidade em relação às argamassas de referência com terra. Todas as argamassas, à excepção das com lã, revelam menor compacidade aos 28 dias pelo facto do processo de carbonatação ainda estar pouco desenvolvido a essa idade.

#### 4.2.1.4 Módulo de elasticidade dinâmico

O valor do módulo de elasticidade define a capacidade de uma argamassa absorver deformações; como tal permite também avaliar sua resistência à fendilhação e compatibilidade com o suporte. O

processo utilizado na determinação do módulo de elasticidade foi baseado na norma NP EN 14146 (IPQ 2007), e que se baseia na determinação da frequência de ressonância longitudinal, através da emissão de vibrações. O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi o “ZEUS Resonance Meter” (ZRM 001) que obtém a frequência de ressonância fundamental longitudinal (frequência mais alta para a qual se obtém uma amplitude máxima)  $f_0$  [Hz]. Para que tal acontecesse foi necessário colocar o provete no suporte próprio do equipamento, com um topo em contacto com a fonte emissora de ultra-sons e o outro colocado em contacto com a unidade de recepção. De seguida introduziram-se no programa de cálculo do equipamento as dimensões do provete a ensaiar (L – comprimento [mm], a – largura [mm], b - altura [mm] e massa [g]) e o valor da aceleração da gravidade aproximado às centésimas, 9,81 m/s<sup>2</sup>. Com estes dados, o equipamento obtém a frequência de ressonância longitudinal  $f_0$  [Hz] e através da Equação 4.7 calcula o módulo de elasticidade dinâmico  $E_d$  [MPa].

$$E_d = (2 \times L \times f_0) \times \frac{\rho}{g} \times 10^{-6} \text{ [MPa]}$$

Equação 4.7

onde

L – Comprimento do provete [m];

$f_0$  – Frequência de ressonância longitudinal [Hz];

$\rho$  – Peso específico [N/m<sup>3</sup>];

g – Aceleração da gravidade [9,80665  $\approx$  9,81 m/s<sup>2</sup>].

Para cada provete foram efectuadas, no mínimo, quatro determinações de valores de  $E_d$ , alternando o topo em contacto com o emissor e as faces de apoio. Por vezes foram obtidas diferentes gamas de valores, sendo necessária uma posterior análise e selecção da gama de valores correcta, com a ajuda dos valores das resistências mecânicas e do módulo de elasticidade de idades anteriores e de argamassas com algumas semelhanças. O valor final do módulo de elasticidade dinâmico foi calculado através da média dos três provetes de cada argamassa, bem como o respectivo desvio padrão, para os 28, 90 e 180 dias de idade.



Figura 4.29 – Módulo de Elasticidade Dinâmico; a) e b) Provete em posição de ensaiar; c) Programa de cálculo.

Os resultados obtidos para o ensaio do módulo de elasticidade dinâmico encontram-se em forma de gráfico, em termos de valor médio e desvio padrão, na Figura 4.30 e Figura 4.31, aos 28, 90 e 180

dias de cura. Os valores variam entre 1439,75 [MPa] para CL3\_10t(ArF)\_FV aos 28 dias e 2673,58 [MPa] para CL3 aos 180 dias.

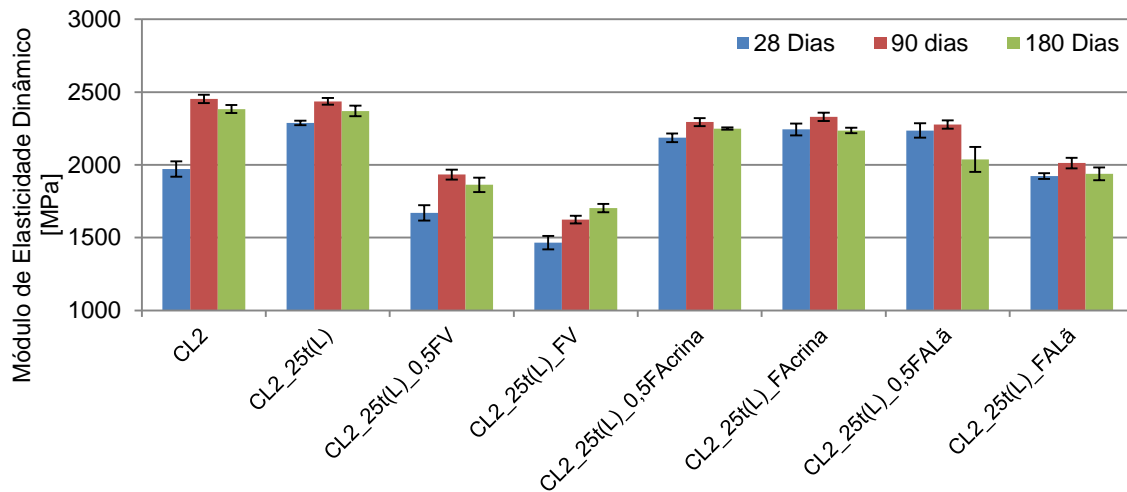


Figura 4.30 – Módulo de elasticidade dinâmico – Argamassas com base no traço 1:2.

Nas argamassas de traço 1:2 é possível visualizar uma tendência do módulo de elasticidade aumentar dos 28 para os 90 dias e contrariamente diminuir dos 90 para os 180 dias, através da Figura 4.30. Pela comparação de CL2 com CL2\_25t(L) conclui-se que a introdução de terra apenas influenciou o módulo de elasticidade para idades pouco avançadas (28 dias). No entanto, comparando com as restantes argamassas, percebe-se que a introdução de fibras proporcionou uma diminuição desse valor, com especial influência nas argamassas com fibras vegetais.

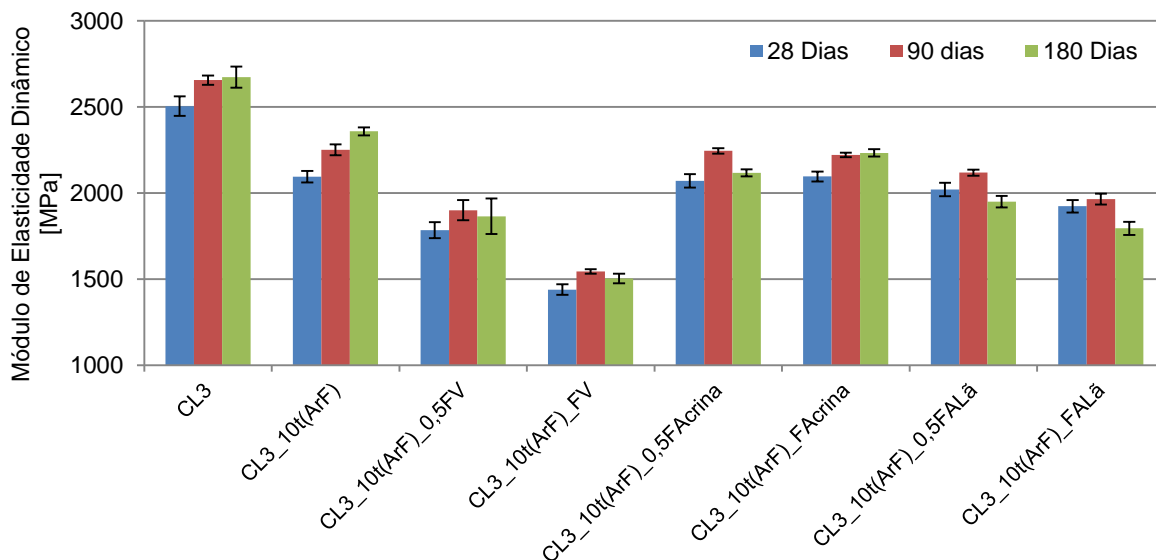


Figura 4.31 - Módulo de elasticidade dinâmico – Argamassas com base no traço 1:3.

No que toca ao traço 1:3, as argamassas com fibras apresentam o mesmo comportamento ao longo do tempo face ao módulo de elasticidade que as referidas anteriormente, aumentando o seu valor dos 28 para os 90 dias e diminuindo dos 90 para os 180 dias. No entanto, o módulo de elasticidade das

argamassas de referência, CL3 e CL3\_10t(ArF), aumenta linearmente com o passar do tempo em estudo. Para este tipo de argamassas a introdução da terra provocou uma forte diminuição do módulo de elasticidade, que se acentuou ainda mais com a introdução de fibras vegetais. Em suma, conclui-se que a introdução de fibras proporciona uma diminuição do valor do módulo de elasticidade, com maior incidência nas argamassas com fibras vegetais e menor nas com crina de cavalo.

#### 4.2.1.5 Resistências à tracção por flexão e à compressão

Uma vez concluída a caracterização não-destrutiva dos provetes prismáticos, procedeu-se à caracterização dos mesmos implicando a sua destruição e seguindo a sequência de ensaios apresentada na Figura 4.17. Tal caracterização iniciou-se com a obtenção das resistências mecânicas, com o auxílio de um equipamento adequado, nomeadamente a resistência à tracção e resistência à compressão.

A resistência à tracção de cada provete foi determinada com base na norma EN 1015-11 (CEN 1999 c) e com o auxílio de uma máquina universal *Zwick/Rowell* (Figura 4.32a), com uma célula de carga de 2kN. A utilização deste aparelho permitiu induzir tracção nos provetes em estudo por uma flexão imposta por acção em três pontos: pela extremidade da célula de carga e por dois apoios acessórios do aparelho.

O procedimento de ensaio iniciou-se com a colocação do provete, o mais perpendicularmente possível com a célula de carga, sobre os apoios adequados do aparelho e com a face rugosa disposta lateralmente (Figura 4.32b). Desta forma, tanto o contacto com a célula de carga, aplicada a meio vão do provete, como o contacto com os apoios, foi feito com as superfícies mais lisas, evitando assim irregularidades nas faces de contacto. De seguida, deu-se início ao carregamento, a velocidade constante, provocado por uma célula de carga de 2 kN, através do *software* do equipamento. Por fim, o *software* de cálculo do equipamento demonstrou graficamente (em tempo real) a força aplicada [N] em função do tempo decorrido (s), o que permitiu obter a força máxima ( $F_f$ ) aplicada imediatamente antes da rotura de cada provete em estudo (Figura 4.32c). Uma vez determinada a respectiva força máxima e através da Equação 4.8 (que consta na norma EN 1015-11c), determinou-se a resistência à tracção por flexão:

$$R_t = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3} [MPa]$$

Equação 4.8

onde

$l$  - distância entre apoios, em milímetros (100 mm);

$b$  - lado da secção quadrada do provete, em milímetros (40 mm).

No final do ensaio recolheram-se as duas metades e uma delas seguiu para o ensaio de resistência à compressão, enquanto a outra foi para a estufa, visto que posteriormente seria sujeita ao ensaio de capilaridade.





Figura 4.32 – Resistência à tracção; a) Equipamento Zwick/Rowell; b) Correcto posicionamento do provete; c) Gráfico final com a força máxima (Ff).

Como referido anteriormente, este ensaio foi efectuado aos 90 e 180 dias de idade e os respectivos resultados, em termos de valor médio e desvio padrão, encontram-se em forma de gráfico na Figura 4.33 e Figura 4.34. Estes resultados variam entre os 0,28 MPa de CL3 aos 90 e os 0,13 MPa de CL3\_10t(ArF)\_FV aos 180 dias.

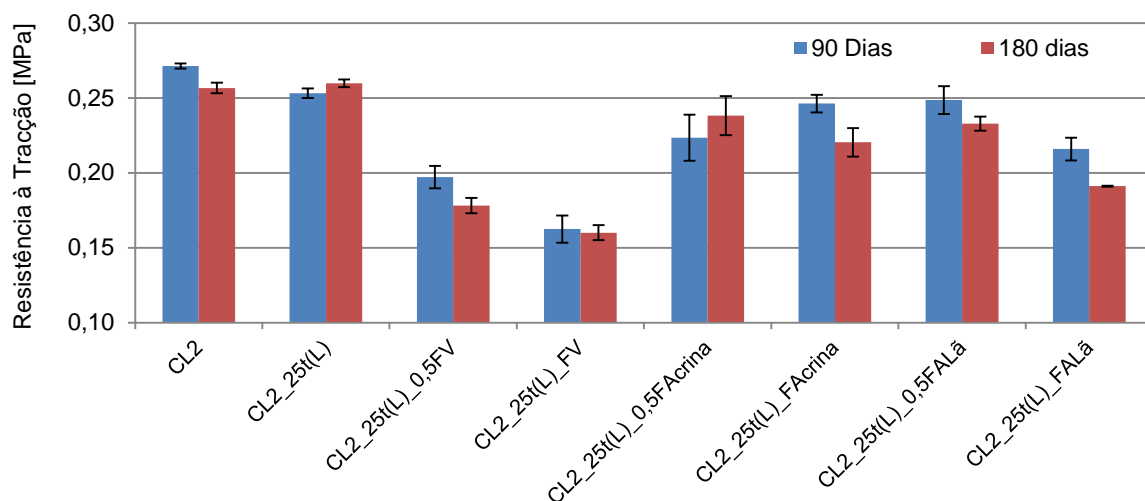


Figura 4.33 – Resistência à tracção por flexão – Argamassas com base no traço 1:2.

Pela Figura 4.33 verifica-se, nas argamassas de traço 1:2, uma tendência da diminuição da resistência à tracção com a idade (dos 90 para os 180 dias). A substituição por terra não alterou muito a resistência à tracção e a adição de crina e de média dosagem de resíduo de lã apresentou valores de algum modo comparáveis. Pode-se concluir também que a introdução de fibras vegetais diminui consideravelmente o valor da sua resistência à tracção, assim como dosagens mais altas de lã de ovelha.

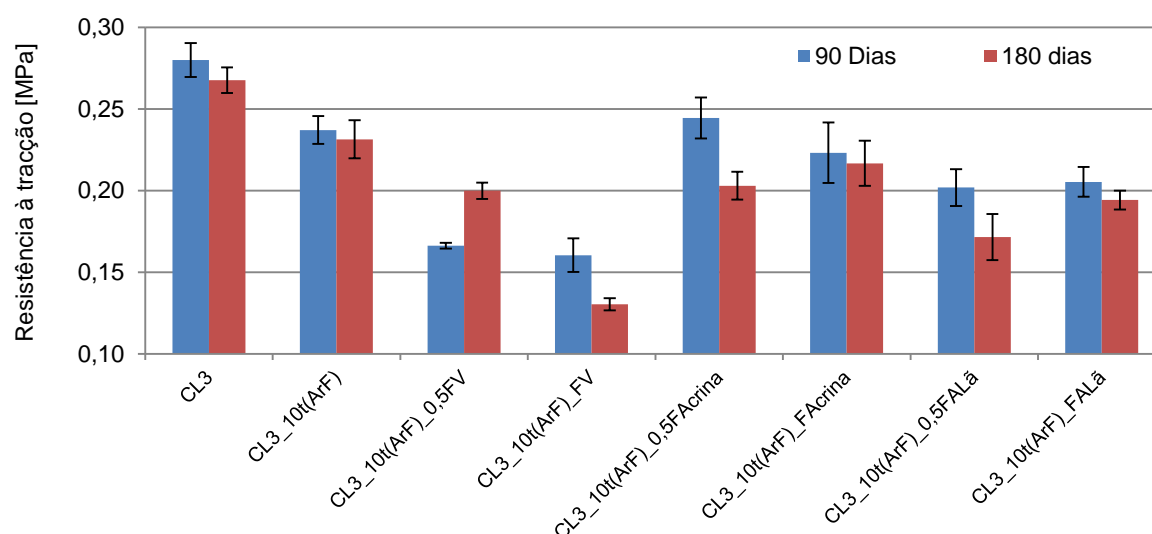


Figura 4.34 - Resistência à tracção por flexão – Argamassas com base no traço 1:3.

No que toca às argamassas de traço 1:3, as tendências dos valores de resistência à tracção referidas para o traço anterior mantêm-se. No entanto é mais visível o decréscimo do valor da resistência aquando da substituição do agregado fino por terra argilosa.

Posto isto pode-se afirmar que a adição de fibras vegetais diminui drasticamente a resistência à tracção das argamassas, enquanto a adição de crina de cavalo apresenta os resultados mais satisfatórios (dentro das fibras) e próximos da referência. Como seria de esperar, as argamassas de traço mais forte em ligante apresentam na sua maioria, resistências maiores que as de traço mais forte em agregado.

À semelhança do ensaio descrito anteriormente, a determinação da resistência à compressão também foi realizada tendo como base a norma EN 1015-11 (CEN 1999c) e o equipamento para a realização deste ensaio é o mesmo do anterior, *Zwick/Rowell*, utilizando neste caso uma célula de carga de 50kN.

Uma das metades de provete obtida através do ensaio anterior foi colocada com a face rugosa na lateral e o mais centrada possível, no devido dispositivo auxiliar que permite o contacto entre os “pratos” do equipamento e o provete (Figura 4.35a). Através do *software* do equipamento, deu-se início ao carregamento a velocidade constante, e o mesmo mostrou em tempo real um gráfico que representa a força aplicada/tempo e determinou a força máxima de compressão aplicada,  $F_c$  [N], que ocorre imediatamente antes da rotura (Figura 4.35b). Dividindo esta força  $F_c$  pela área da secção ( $S$ ) onde é aplicada a carga ( $40 \times 40 = 1600$  [mm<sup>2</sup>]), foi possível obter a resistência à compressão ( $R_c$ ) em MPa para cada provete em estudo.

No final do ensaio, cada metade de provete ensaiado dividiu-se em três novos provetes (Figura 4.35c), em que o provete de topo liso foi mais tarde utilizado para o ensaio de porosidade aberta. Relativamente aos outros dois, estes foram guardados em sacos de plástico devidamente fechados, para minimizar a evolução da cura, e foram encaminhados para o ensaio de porosimetria de mercúrio e caracterização química no LNEC, que já não se encontram no âmbito desta dissertação.



Figura 4.35 – Resistência à compressão; a) Colocação correcta do provete; b) Rotura do provete (fissuração); c) 3 pedaços de provete resultantes.

O ensaio de resistência à compressão foi efectuado para idades de 90 e 180 dias e os resultados obtidos estão sintetizados na Figura 4.36 e Figura 4.37, em termos de valor médio e desvio padrão. A gama de valores obtidos situa-se entre os 0,6 MPa aos 180 dias de CL2, como a argamassa com maior resistência à compressão, e os 0,38 MPa aos 90 dias de CL3\_10t(ArF)\_FV, como a argamassa com menor resistência à compressão. À imagem dos resultados do ensaio da resistência à tracção, também neste caso o valor da resistência à compressão das argamassas que contêm fibras decresce com a idade. No entanto, para as argamassas de referência o tempo mostra-se benéfico para a sua capacidade de resistir a forças de compressão. Para além disso, também é de realçar o facto de o tempo não alterar o valor da resistência à compressão das argamassas com fibras vegetais (dos 90 para os 180 dias).

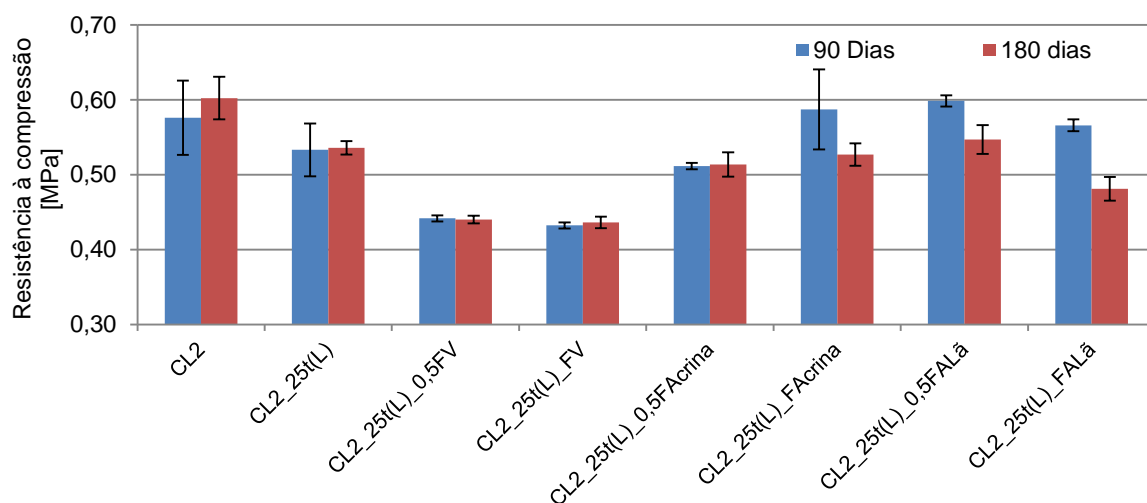


Figura 4.36 – Resistência à compressão – Argamassas com base no traço 1:2.

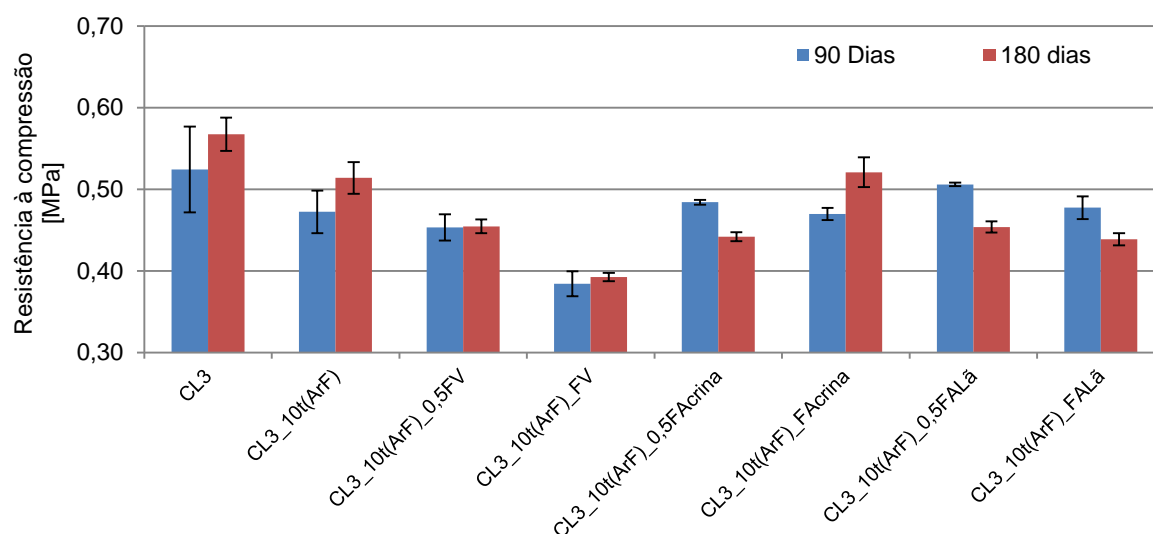


Figura 4.37 - Resistência à compressão – Argamassas com base no traço 1:3.

Os resultados obtidos na resistência à compressão têm uma tendência muito semelhante tanto para as argamassas com traço 1:2 como para as de traço 1:3; como tal a sua análise será feita em paralelo. Pela análise dos gráficos é perceptível que a substituição por terra diminui a capacidade resistente das argamassas e que a adição de fibras vegetais ainda contribui mais significativamente para a diminuição da resistência à compressão. Em sentido contrário, estão as argamassas que contêm lã de ovelha e crina de cavalo uma vez que a sua introdução permite manter a resistência na ordem da resistência da argamassa de referência com terra, e até nalguns casos aumentá-la (CL2\_25t(L)\_FA<sub>crina</sub> e CL2\_25t(L)\_0,5FA<sub>lã</sub>).

Desta forma, conclui-se que as argamassas apenas com cal têm maior resistência à compressão e que à medida que se adiciona terra e fibras a sua resistência vai diminuindo até ao valor mais baixo representado pelas fibras vegetais. Tal como anteriormente as argamassas de traço 1:2 apresentam, maioritariamente, resistências superiores em comparação com as de traços 1:3.

Em Aymerich *et al.* (2012), a introdução de lã não aumentou o valor das resistências, mas contribuiu fortemente para o aumento da ductilidade das argamassas e absorção de energia após a rotura. No presente estudo, esse facto verificou-se visualmente e pelo aumento de força necessária para separar os pedaços de provetes que resultam dos ensaios, mesmo após a rotura. As argamassas com crina de cavalo apresentaram um comportamento muito semelhante às com lã de ovelha.

O facto das argamassas com fibras vegetais aumentarem, apenas ligeiramente, a sua resistência mecânica à compressão dos 90 para os 180 dias faz todo o sentido de acordo com Rato (2006), onde se admite que, nas argamassas mais porosas, a carbonatação da cal se desenvolve mais rapidamente, proporcionando maiores resistências mecânicas a idades jovens. Relativamente à introdução de lã

de ovelha nas argamassas, pode-se concluir que esta provoca uma diminuição das resistências mecânicas das mesmas com o passar do tempo.

#### 4.2.1.6 Absorção de água por capilaridade

As metades dos provetes que não se ensaiaram à compressão foram submetidas ao ensaio de absorção de água por capilaridade com o objectivo de avaliar o comportamento das argamassas em condições de molhagem, com base nas normas EN 1015-18 (CEN, 2002) e EN 15801 (CEN, 2009). Para tal determinou-se o coeficiente de capilaridade (CC), que corresponde ao declive inicial da curva de absorção capilar e o valor assintótico (VA), que representa o máximo dessa mesma curva. O coeficiente de capilaridade traduz a rapidez de absorção inicial de água e, como tal, avalia a durabilidade da argamassa e a protecção dos respectivos suportes, enquanto o valor assintótico traduz a quantidade máxima de água absorvida pela argamassa, que é directamente proporcional à quantidade de poros capilares existentes (Faria-Rodrigues 2004).

Inicialmente os provetes a ensaiar foram encaminhados para uma estufa a 60°C, por forma a atingirem massa constante, e apenas foram retirados quando tal se verificou por pesagens sucessivas com diferença de massa inferiores a 1%. Uma vez garantido o passo anterior, os provetes foram levados para a sala condicionada (temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e humidade relativa de  $65 \pm 5\%$ ) onde foram envolvidos em película aderente de polietileno em toda a volta. Embora este método não seja equivalente à impermeabilização através da aplicação de uma resina impermeabilizante, tentou-se desta forma garantir que a absorção de água ocorresse apenas pela base e que o fluxo fosse unidireccional, para efeitos comparativos entre provetes com preparação semelhante. Contudo, uma vez que os provetes se mostraram demasiado frágeis, foi necessário acrescentar uma gaze na base do provete devidamente fixada por um elástico em redor do mesmo. A gaze teve como objectivo garantir que não se perdesse material no decorrer do ensaio; como tal a sua malha teve que ter dimensões suficientes que garantissem que não se desperdiçasse material, mas ao mesmo tempo se assegurasse a normalidade do fluxo de absorção de água pela base do provete (Figura 4.38a).

Para a execução deste ensaio foram necessárias duas caixas plásticas com água no seu interior, de forma a garantir um ambiente saturado de humidade relativa. Dentro destas colocou-se um tabuleiro metálico sobre dois tijolos para garantir sobrelevação em relação à água e por sua vez dentro dos tabuleiros colocou-se uma lâmina de água de 5 mm de altura (medida com uma régua) e uma rede plástica no fundo para sobreelevar os provetes com o objectivo de garantir o contacto da base do provete com a água e, consequentemente, facilitar a absorção de água pela sua base (Figura 4.38b). A altura da lâmina de água foi alvo de especial atenção, nomeadamente nas primeiras horas de ensaio, tendo sido acrescentada água inúmeras vezes para que fossem mantidos os 5 mm de altura da lâmina de água.

Terminada a preparação dos provetes e caixas, o procedimento de ensaio iniciou-se com a pesagem do conjunto (proвете + gaze + película + elástico) de modo a obter-se a massa seca,  $m_0$ . De seguida,

os provetes foram colocados no tabuleiro (Figura 4.38c) e foram realizadas pesagens aos 5, 10, 15 e 30 minutos, e depois de hora a hora até a curva de absorção se encontrar num patamar de estabilização. Esse patamar atingiu-se, na maioria dos casos, às 2h de ensaio, no entanto efectuaram-se leituras até às 5h e posteriormente, uma vez por dia até às 96h (5 dias), até se atingir massa constante. O término do ensaio teve como base a norma EN 15801 (CEN 2009) que considera que apenas se garante massa constante quando a diferença de massa entre duas pesagens sucessivas de 24 horas for inferior a 1%. Entre a pesagem de cada provete houve o cuidado de deixar pingar a água em excesso e nunca deixar pingar para cima dos restantes provetes. A balança onde se realizaram as pesagens tem uma precisão de 0,001 g e cada provete foi pesado dentro de uma caixa de Petri com uma lâmina de água para garantir que o provete está sempre em contacto com água durante o ensaio (Figura 4.38d).

A curva de absorção de água por capilaridade foi determinada através do traçado de um gráfico que expressa a quantidade de água absorvida por área da base ( $M$ ) [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ] em função da raiz quadrada do tempo [ $\text{min}^{1/2}$ ], sendo o primeiro definido por:

$$M = \frac{m_i - m_0}{S} [\text{kg}/\text{m}^2]$$

Equação 4.9

onde

$m_i$  – massa do provete no instante  $t_i$  [kg];

$m_0$  – massa do provete seco (com gaze) [kg];

$S$  – área da superfície do provete em contacto com a água [0,04x0,04 m].



Figura 4.38 - Ensaio de absorção de água por capilaridade. a) Provette com película aderente e gaze; b) Caixa e tabuleiro com água; c) Vista geral do ensaio a decorrer; d) Pesagem de um provete.

Uma vez obtida a curva de absorção de água por capilaridade, o coeficiente de capilaridade (CC) obtém-se efectuando uma regressão linear dos pontos iniciais dessa curva, através da determinação do declive ( $m$ ) da recta ( $y=mx+b$ ) formada por estes pontos. No entanto, esta fase inicial é muito relativa, pois varia de provete para provete e, como tal, os pontos representativos da fase inicial podem ser diferentes de caso para caso, o que resulta na necessidade de determinação individual do coeficiente de capilaridade de cada provete em estudo.

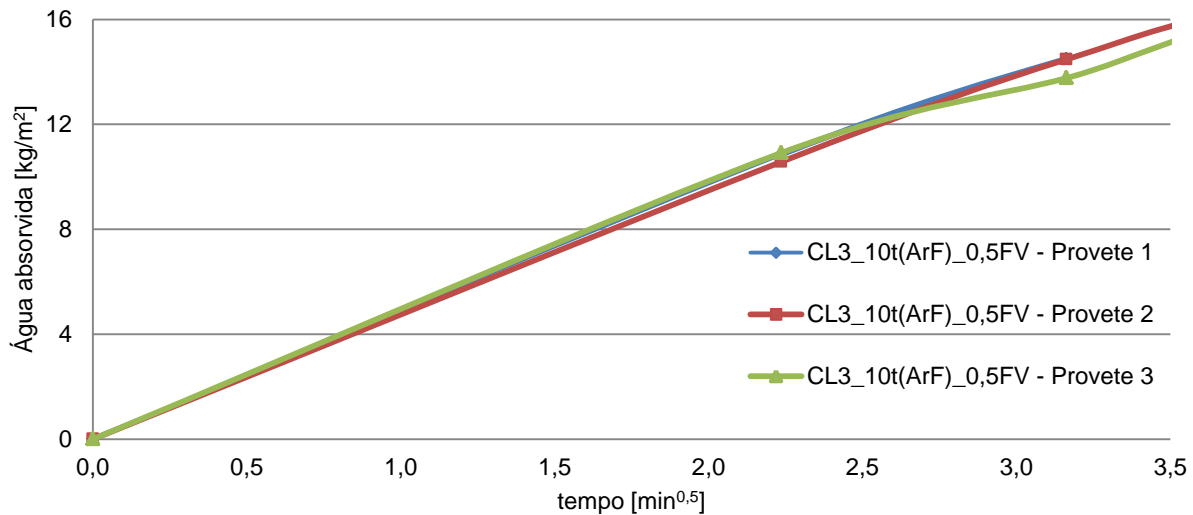


Figura 4.39 – Início da curva de absorção de água (exemplo).

A título de exemplo, vejamos o caso da argamassa CL3\_10t(ArF)\_0,5FV que se encontra ilustrado em forma de gráfico na Figura 4.39. Pela sua análise é perceptível que as diversas rectas se interceptam ligeiramente antes do instante de tempo 3, que neste caso significa quase 10 minutos uma vez que as unidades de tempo do gráfico são  $\text{min}^{0,5}$ . Como tal, o declive considerado para a obtenção do valor de CC, neste caso em particular, será o declive até ao instante de tempo 3. Fazendo a conversão para uma unidade de tempo mais corrente, conclui-se que os pontos considerados serão os obtidos nas pesagens antes dos 10 min, ou seja, nas pesagens iniciais e as aos 5 min. Através da média do CC dos três provetes, obteve-se o CC da argamassa CL3\_10t(ArF)\_0,5FV.

Por outro lado, o valor assintótico (VA) determinou-se observando a máxima quantidade de água absorvida no final do ensaio e é expresso em  $\text{kg/m}^2$ .

A apresentação de resultados será feita seguidamente englobando as curvas de capilaridade (Figura 4.40, Figura 4.41, Figura 4.42 e Figura 4.43) e os gráficos com o coeficiente de capilaridade e valor assintótico, enquanto a análise dos resultados obtidos será feita apenas analisando comparativamente os valores de coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 90 e 180, em termos de valor médio (Figura 4.44, Figura 4.45, Figura 4.46 e Figura 4.47).



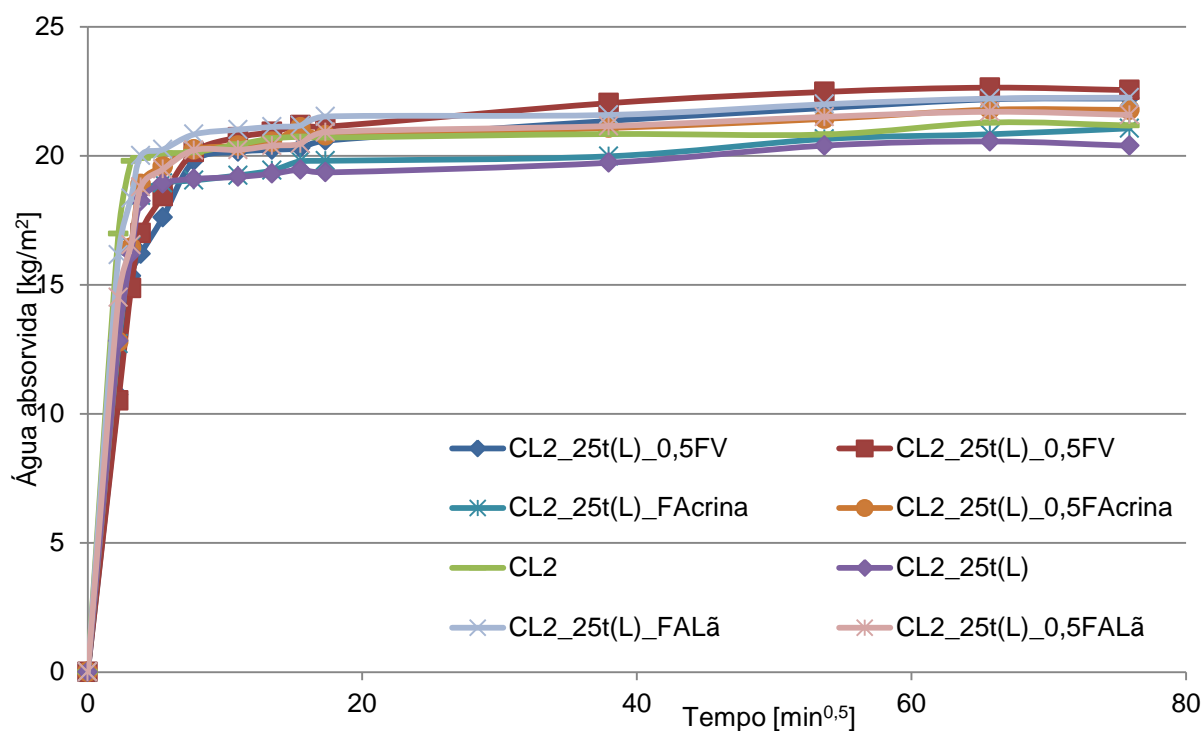


Figura 4.40 - Curvas de absorção capilar aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

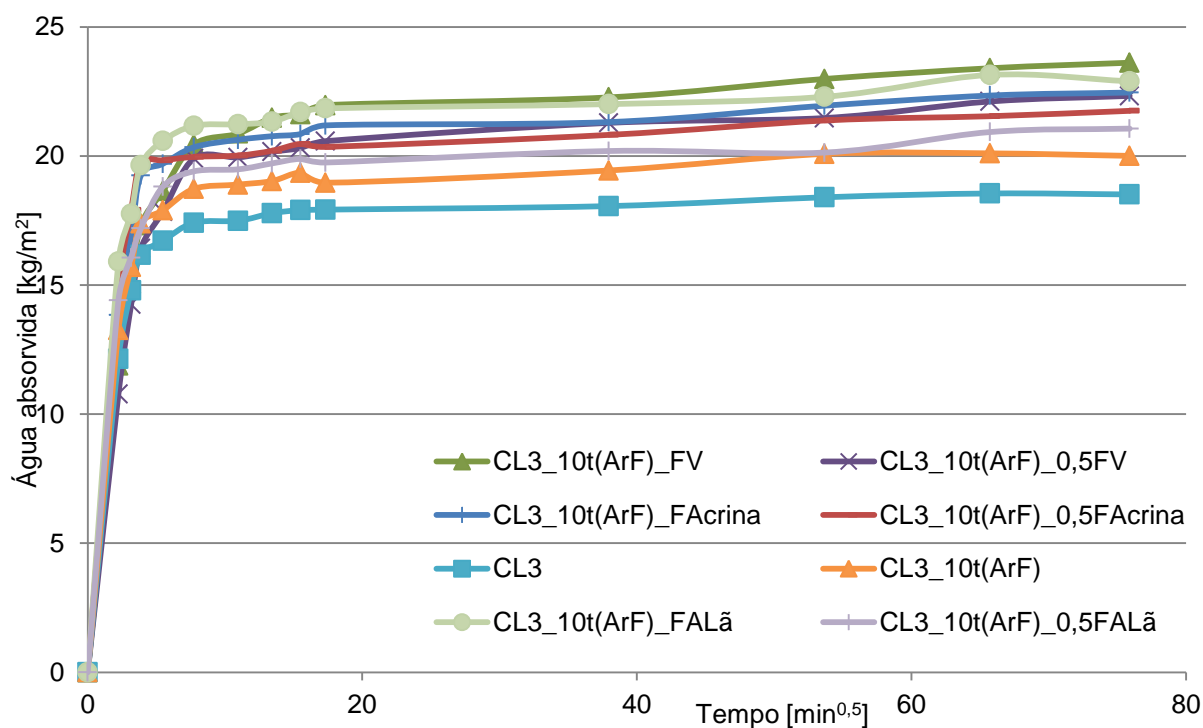


Figura 4.41 - Curvas de absorção capilar aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3.



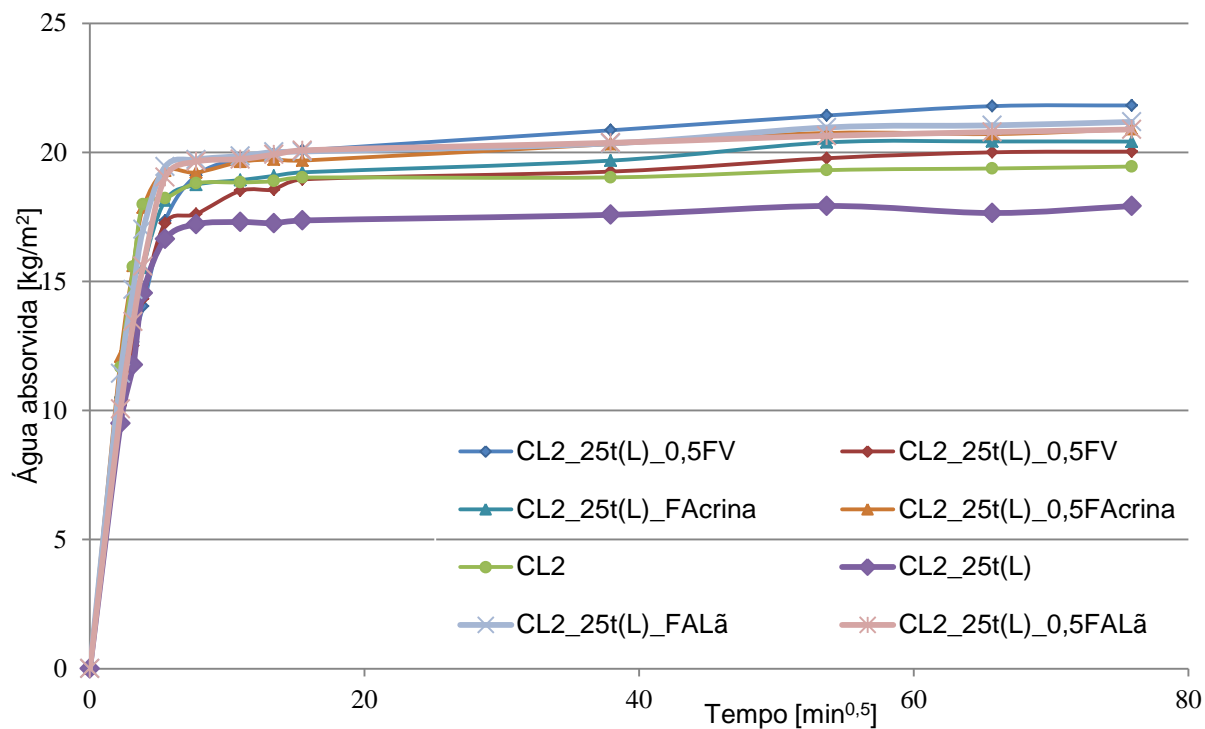


Figura 4.42 - Curvas de absorção capilar aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

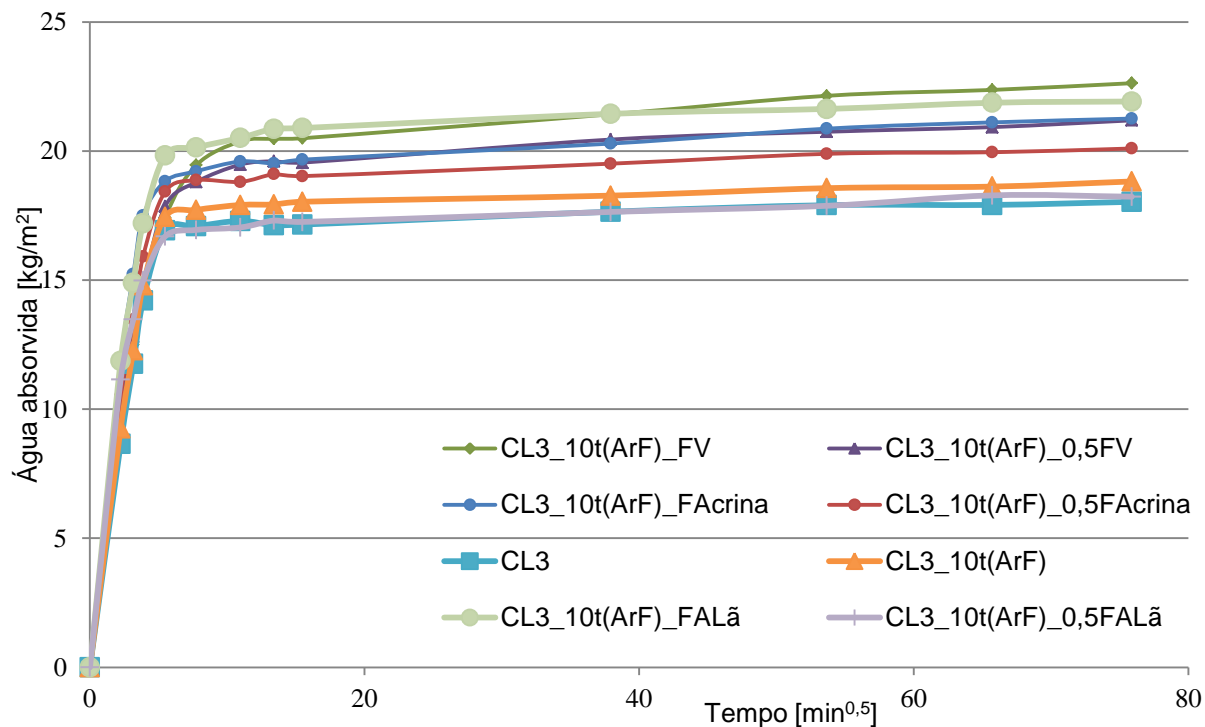


Figura 4.43 - Curvas de absorção capilar aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

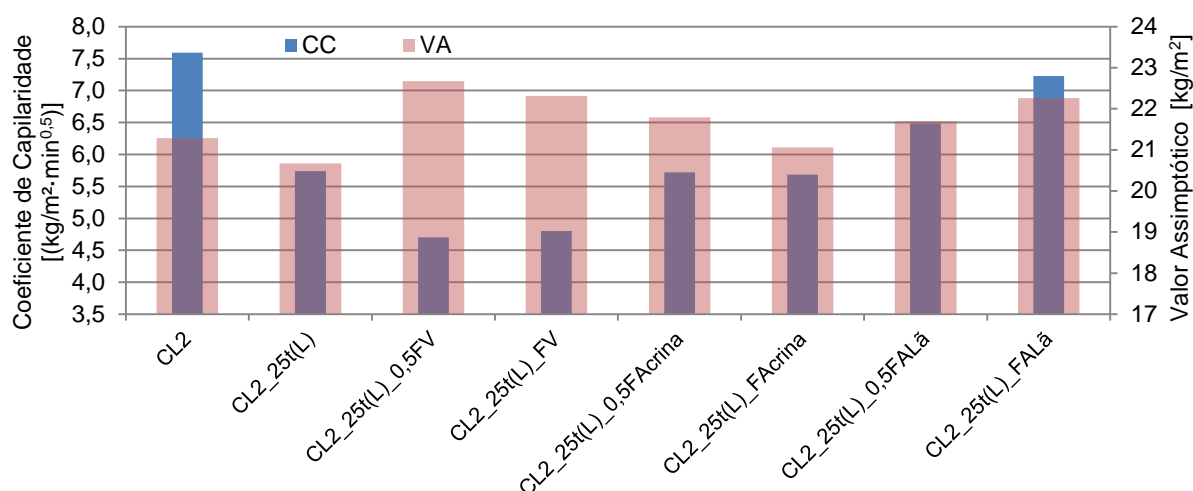


Figura 4.44 - Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

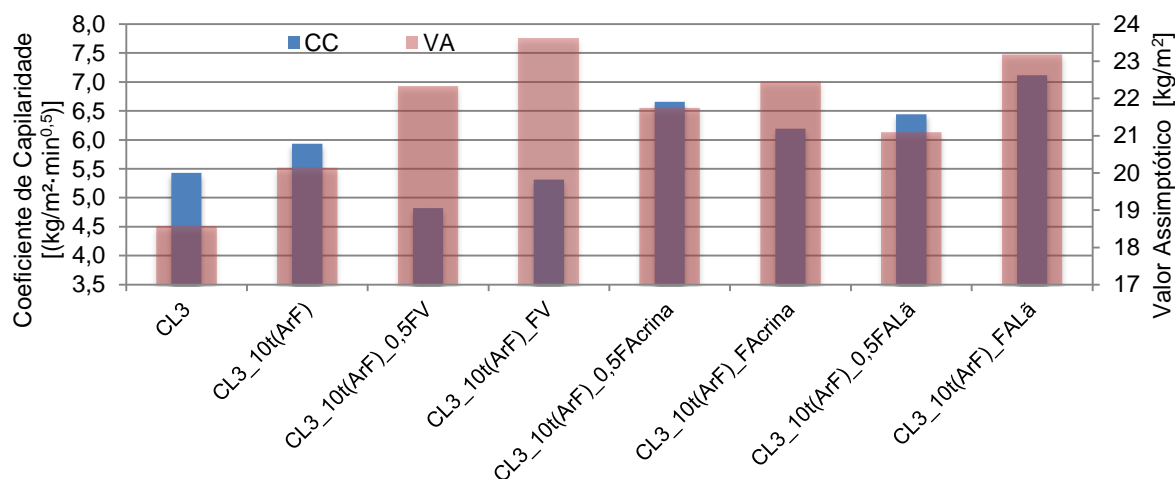


Figura 4.45 - Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3.

Fazendo uma primeira análise exclusivamente aos 90 dias, percebe-se que a adição de fibras vegetais diminui drasticamente o coeficiente de capilaridade e aumenta significativamente o seu valor assintótico, ou seja, absorve mais água, mas mais lentamente. Por outro lado, as restantes fibras aumentam essas duas características de forma mais evidente nas argamassas com lã de ovelha. Comparando os gráficos dos dois traços, a maior parte das argamassas apresentam valores e tendências de CC e VA semelhantes, exceção feita nas argamassas de referência (CL2 e CL3).

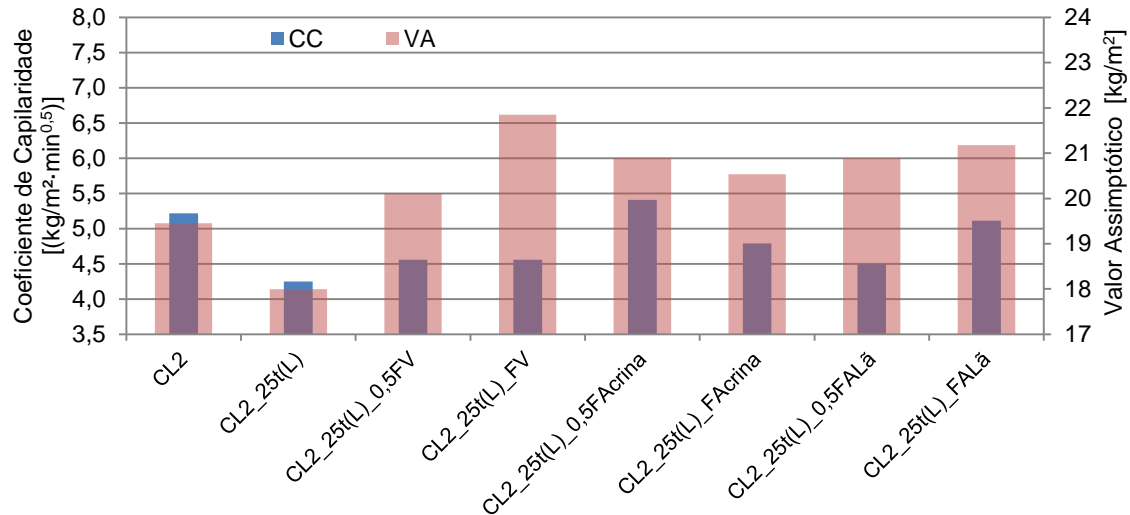


Figura 4.46 - Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

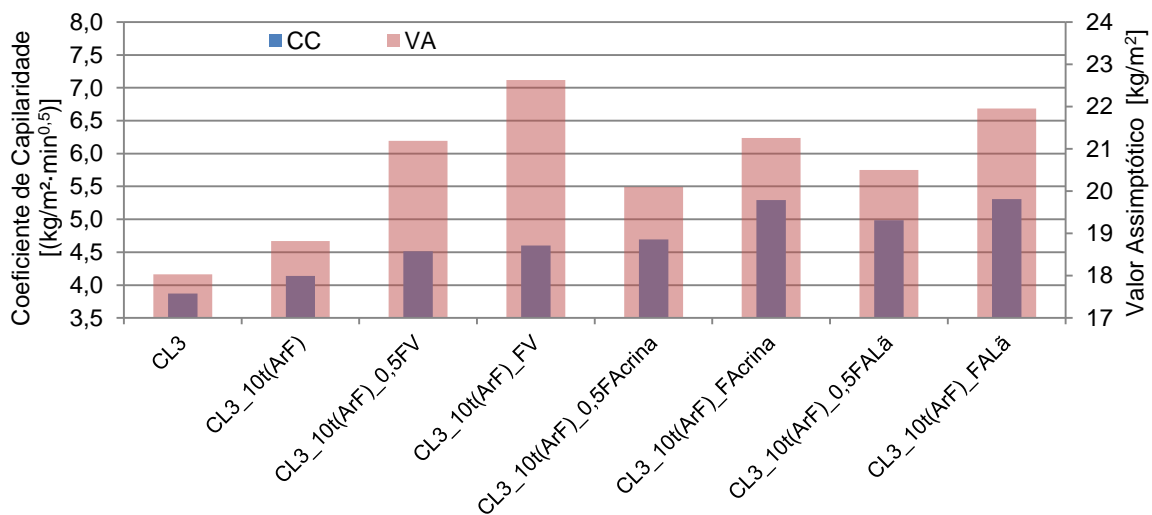


Figura 4.47 - Coeficiente de capilaridade e valor assintótico aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:3.

Pela análise da Figura 4.46 e Figura 4.47 verifica-se uma grande proporcionalidade entre os valores de coeficiente de capilaridade (CC) e valor assintótico (VA) aos 180 dias, uma vez que ambas aumentam e diminuem em conjunto. Aos 180 dias os valores de referência diminuem de tal forma que a introdução de qualquer que seja a fibra aumenta significativamente os resultados do coeficiente de capilaridade e do valor assintótico. Tal como anteriormente, a introdução de fibras vegetais proporciona um grande aumento do VA. No entanto, contrariamente ao que se sucede nos 90 dias, o seu CC também aumenta ligeiramente. No que toca à introdução das restantes fibras (crina de cavalo e lã de ovelha), o comportamento face à referência manteve-se, aumentando tanto o CC como o VA.

Por fim, quer aos 90 dias quer aos 180 dias, as argamassas de referência revelam um comportamento muito semelhante ao descrito em dissertações anteriores (Dias, 2013 e Jamú, 2013), em que as

argamassas de traço 1:3 aumentam o coeficiente de capilaridade e o valor assintótico com a substituição de agregado fino por terra (CL3 vs. CL3:10t(ArF)) e por outro lado as argamassas de traço 1:2 diminuem essas mesmas características com a substituição de cal por terra. Na generalidade, as argamassas de traço 1:3 revelaram maior valor assintótico que as suas correspondentes de traço 1:2, assim como as argamassas com maior dosagem de fibra quando comparadas com as de menor dosagem (por ex. o valor assintótico de CL2\_25t(L)\_FV > CL2\_25t(L)\_0,5FV).

#### 4.2.1.7 Secagem

Uma vez terminado o ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu-se o ensaio de secagem. Este ensaio foi realizado na mesma sala que o anterior (temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e humidade relativa de  $65 \pm 5\%$ ) e o seu procedimento foi baseado no Test N.º. II.5 “Evaporation curve” da RILEM (1980b), na norma NORMAL 29/88 (1991), com tratamento de resultados simplificado de acordo com Brito *et al.* (2011) e Grilo *et al.* (2014). A realização deste ensaio permite avaliar a facilidade com que as argamassas perdem a água absorvida, e dessa forma estimar a sua durabilidade (especialmente tendo em conta a sua aplicação).

*“A durabilidade das argamassas de cal aérea está muito dependente da estrutura porosa que, entre outras contribuições, condiciona a facilidade de secagem”* (Faria 2004).

Os provetes foram retirados do tabuleiro em que se encontravam a realizar o ensaio de capilaridade e colocados na bancada metálica lisa ao lado da balança (Figura 4.48). De modo a utilizar a última pesagem do ensaio de capilaridade como a pesagem inicial do ensaio de secagem, os provetes mantiveram a sua preparação (gaze + película aderente + elástico), o que também garantiu a sua secagem unidireccional pelo topo superior. No primeiro dia os provetes foram pesados de hora a hora durante 8 horas e daí em diante foram pesados, sensivelmente à mesma hora, todos os dias úteis até perfazer 528h de ensaio. Ao contrário do ensaio anterior, a estabilização da massa considerou-se quando a massa dos provetes começou a aumentar e como tal concluiu-se que o seu processo de secagem estaria necessariamente cessado e o provete em equilíbrio com o ambiente. As várias pesagens realizadas durante todo o ensaio foram realizadas na balança de precisão 0,001g utilizada no ensaio de capilaridade e, através destas, criou-se uma curva de secagem. Essa curva de secagem traduz o teor em água ( $W_i$  [%], quantidade de água existente em função da área do topo) em função do instante de tempo  $t_i$  [h] e foi obtida através da seguinte fórmula:

$$W_i = \frac{m_i - m_0}{m_0} \times 100 \text{ [%]}$$

Equação 4.10

em que

$m_i$  – massa do provete no instante  $t_i$  [kg];

$m_0$  – massa do provete seco [kg].



Figura 4.48 – Ensaio de Secagem.

À semelhança do ensaio de capilaridade, também o ensaio de secagem foi complementado com a determinação de dois parâmetros: a taxa de secagem (TS), que indica a velocidade inicial de secagem, e o índice de secagem (IS), que quantifica a facilidade de secagem total. Tanto as taxas de secagem como os índices de secagem resultaram da média dos ensaios a 3 provetes de cada argamassa.

A taxa de secagem (TS) foi determinada através do declive do troço recto inicial da curva de secagem. A análise do troço inicial varia de caso para caso e assim, para cada provete (cada curva de secagem) foi escolhido o melhor intervalo de tempo, que foi semelhante para todos (24 horas). Esta taxa refere-se ao “*Stage I*” onde a fase líquida é contínua na rede dos poros (Brito *et al*, 2011) e é obtida directamente através das curvas de cada argamassa.

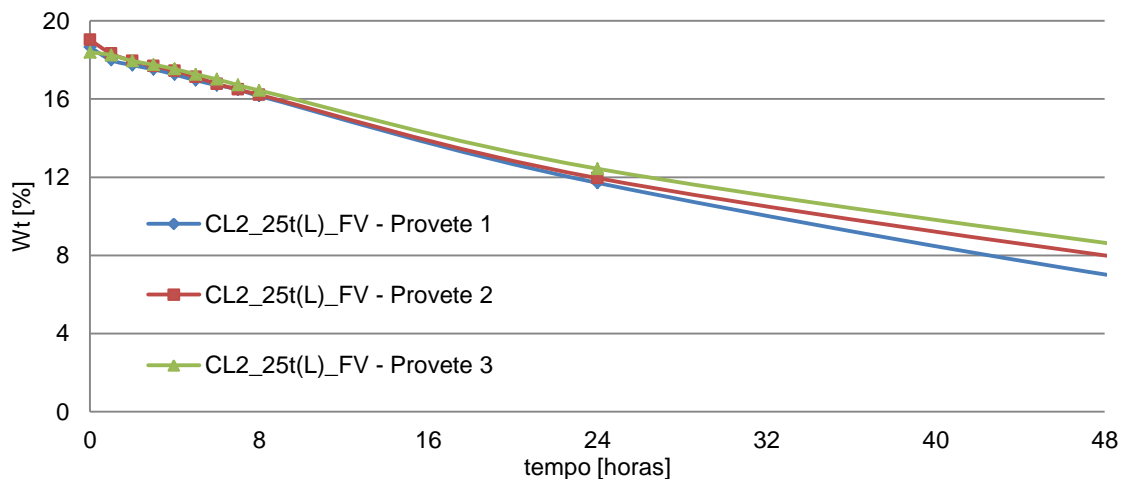


Figura 4.49 – Início da curva de secagem de água (exemplo).

A lógica da escolha do intervalo de tempo foi semelhante à utilizada no ensaio de capilaridade, mas neste caso o declive das rectas mantém-se razoavelmente constante nas primeiras 24 horas de ensaio. Pelo exemplo ilustrado na Figura 4.49 percebe-se que a partir das 24 horas de ensaio os declives sofrem alterações muito significativas (entram no Stage II) e como tal esses pontos não podem ser contabilizados para o cálculo da taxa de secagem.

Outro parâmetro avaliado com este ensaio foi o índice de secagem (IS) que foi calculado através de um método simplificado de integração numérica, a regra do trapézio (Brito 2011; Faria 2012 b), através da seguinte expressão:

$$IS = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [(t_i - t_{i-1}) \times \frac{W_{i-1} + W_i}{2}]}{W_{m\acute{a}x} \times t_f}$$

Equação 4.11

em que

$t_i$  – tempo de ensaio i [h];

$t_f$  – tempo final do ensaio [h];

$W_i$  - quantidade de água no interior do provete no instante  $t_i$  [% relativamente à massa seca];

$W_{m\acute{a}x}$  - quantidade de água inicial [% relativamente à massa seca].

Apesar do ensaio ter sido realizado aos 90 e aos 180 dias, devido a uma falha técnica do aparelho que regula as condições do ambiente da sala de cura, não foi possível garantir as mesmas condições de secagem (temperatura e humidade relativa) entre as duas idades. Como tal os resultados aos 180 dias são muito diferentes e incomparáveis com os primeiros; desta forma de seguida apenas serão apresentados os resultados do ensaio de secagem aos 90 dias de idade. Para além disso, e à semelhança do ensaio de capilaridade, as curvas de secagem apenas serão apresentadas (Figura 4.50 e Figura 4.51) e a análise de resultados restringir-se-á apenas ao índice de secagem e taxa de secagem, em termos de valor médio (Figura 4.52 e Figura 4.53).

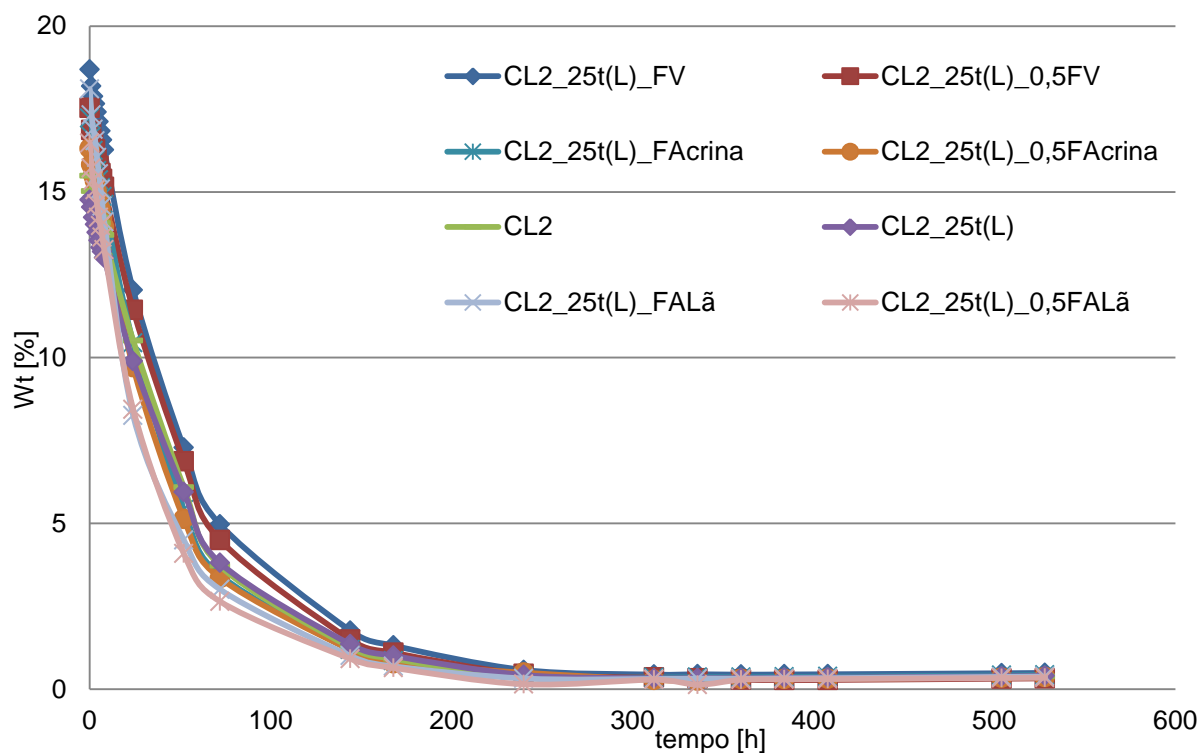


Figura 4.50 – Curvas de secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

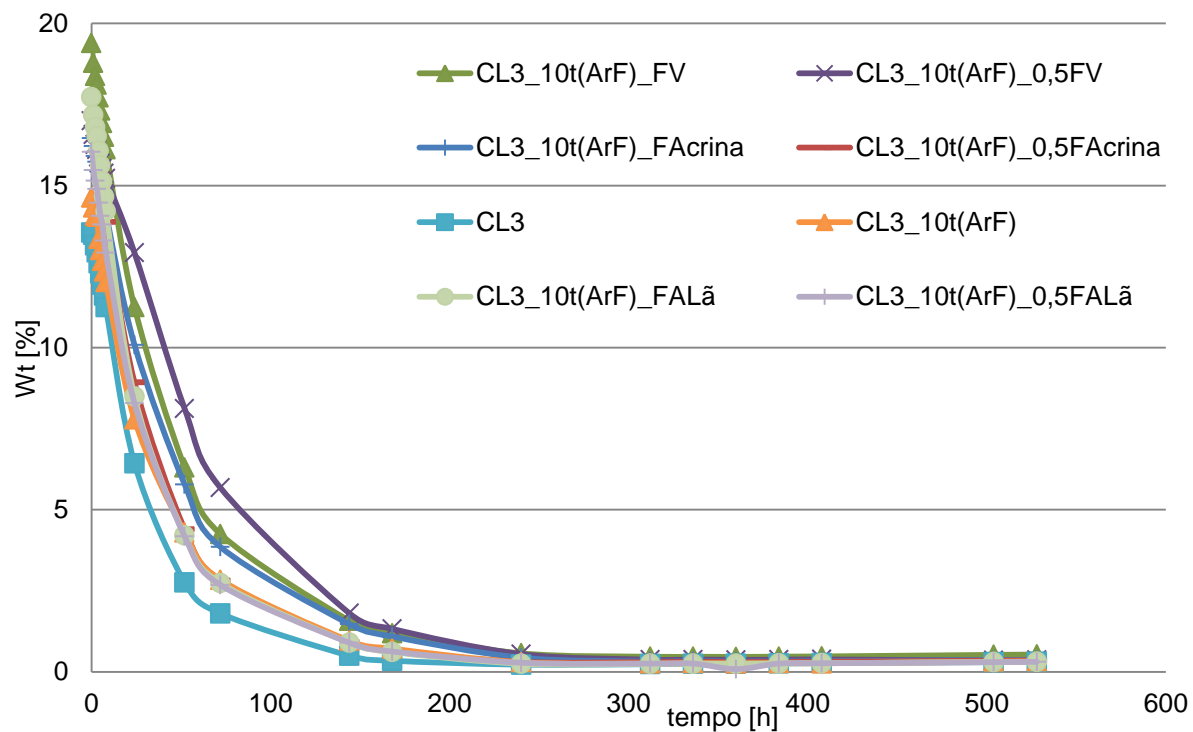


Figura 4.51 – Curvas de secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

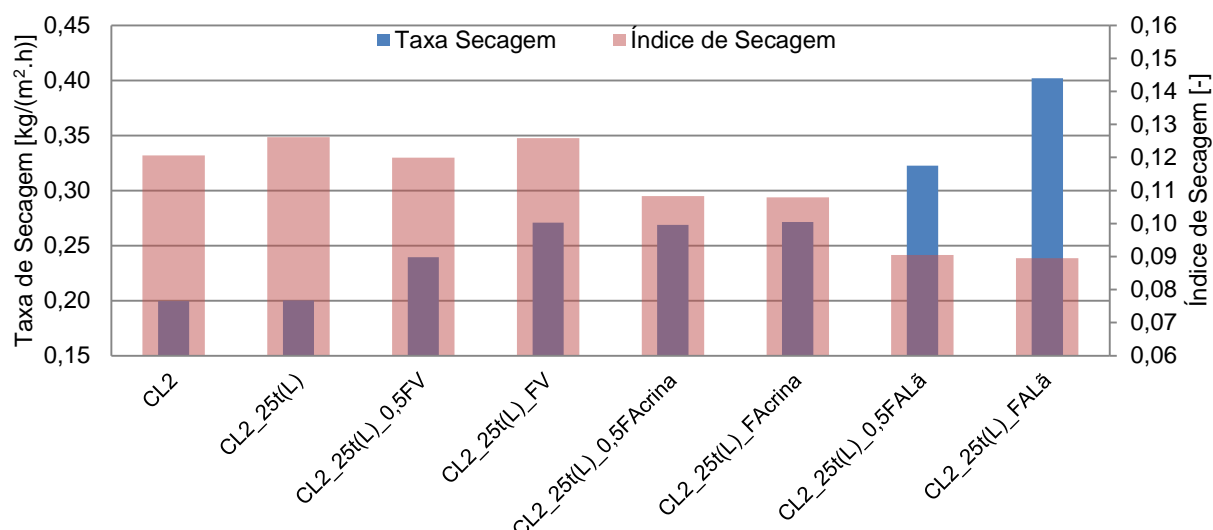


Figura 4.52 – Taxa de secagem e índice de secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

Pela análise da Figura 4.52 pode-se concluir que as argamassas de referência sem e com terra e as com fibras vegetais de traço 1:2 apresentam índices de secagem muito semelhantes (à exceção das que têm crina e lã de ovelha) e que a adição de fibras aumenta a taxa de secagem, ou seja, proporcionam uma secagem inicial mais rápida.

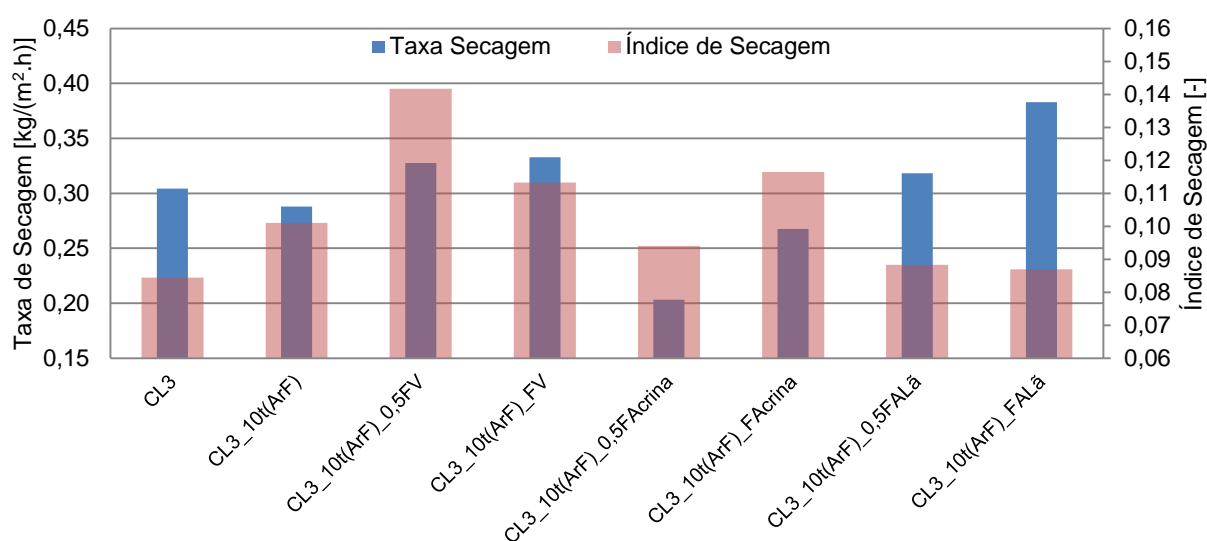


Figura 4.53 - Taxa de secagem e índice de secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3.

Relativamente às argamassas de traço 1:3, a introdução de fibras vegetais e lã de ovelha aumenta a taxa de secagem, enquanto a introdução de crina de cavalo diminui esse parâmetro, particularmente com a dosagem mais baixa. Quanto ao índice de secagem, este aumenta com a substituição por terra e com a introdução de fibras vegetais e diminui com a introdução de lã de ovelha, sendo a adição de crina de cavalo inconclusiva pois varia consoante a dosagem.



Pela observação das figuras (Figura 4.52 e Figura 4.53) percebe-se a dificuldade de comparação entre traços, uma vez que apresentam gráficos dos resultados com aspecto muito diferente. Contudo verificam-se algumas semelhanças, nomeadamente no facto de em ambos os traços as fibras de lã de ovelha conduzirem aos resultados mais reduzidos de índice de secagem e mais elevados de taxa de secagem. Ou seja, estas argamassas são as que secam inicialmente mais rapidamente (maior TS) e as que têm maior facilidade em secar na sua totalidade (menor IS).

#### 4.2.1.8 Porosidade aberta e massa volúmica

A determinação da porosidade aberta e da massa volúmica teve como base a norma NP EN 1936 (IPQ 2008) para pedra natural. No entanto fizeram-se algumas alterações no sentido de adequar o ensaio aos provetes em estudo. Para a sua realização foram utilizados os topos (íntegros) dos meios provetes resultantes do ensaio de resistência à compressão, que se mantiveram em estufa a 60°C.

A preparação prévia deste ensaio consistiu na limpeza das amostras para eliminar o material solto à superfície, para de seguida se envolver cada um dos provetes em tecido de *nylon*, fechando os topos com fio de pesca, de modo a evitar perdas de material significativas que influenciassem os resultados do ensaio. Terminada a sua preparação, os provetes foram colocados novamente na estufa para, após cerca de 24h, se dar início ao ensaio.

Como tal, no dia seguinte deu-se início ao ensaio e para tal retiraram-se novamente os provetes da estufa e pesaram-se numa balança de precisão de 0,001g, obtendo assim as massas secas  $m_1$  [g]. Concluída a pesagem dos provetes, estes foram colocados num exsicador que se encontrava ligado a um tubo de introdução de água e a uma bomba de vácuo. Vedou-se o exsicador, garantindo assim a estanquicidade ao ar, e ligou-se a bomba de vácuo de modo a reduzir a pressão no interior do equipamento, permanecendo assim 24h (Figura 4.54a). Terminadas as 24 horas introduziu-se água de forma lenta no exsicador, através de um tubo a ele ligado e durante aproximadamente 15 minutos, de maneira a garantir que a água conseguisse preencher todos os vazios dos provetes. A introdução de água fez-se até os provetes se encontrarem completamente submersos e assim permaneceram durante 24h (Figura 4.54b). Passadas as 24 horas, desligou-se a bomba de vácuo e os provetes mantiveram-se submersos e sem vácuo por mais 24 horas (Figura 4.54c).



Figura 4.54 – Porosidade aberta/Massa volúmica. a) Provete no interior do exsiccador com bomba de vácuo em funcionamento; b) Provete submersos no interior do exsiccador com bomba de vácuo em funcionamento; c) Provete submersos no interior do exsiccador com bomba de vácuo desligada.

Terminado o procedimento descrito anteriormente, três provetes de cada vez foram retirados do exsiccador e imediatamente pesados em imersão (pesagem hidrostática,  $m_2$ ), utilizando um suporte acoplado debaixo de uma balança, colocado dentro de água (Figura 4.55a). Uma vez terminada a pesagem hidrostática (Figura 4.55b), os provetes foram colocados sobre um pano molhado para absorver a água envolvente em excesso, para de seguida serem pesados normalmente a fim de se obter a massa saturada  $m_3$  (Figura 4.55c). Este processo repetiu-se até à finalização das pesagens de todos os provetes. Através das várias massas ( $m_1$ ,  $m_2$  e  $m_3$ ) obtidas anteriormente foi possível determinar a massa volúmica e a porosidade aberta. Sendo que a massa volúmica (MV) se determinou através da seguinte fórmula:

$$MV = \frac{m}{V} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times 10^3 [kg/m^3]$$

Equação 4.12

em que

$m$  – massa do provete;

$V$  – volume total do provete;

$m_1$  – massa seca do provete [g];

$m_2$  – massa hidrostática do provete [g];

$m_3$  – massa saturada do provete [g].

A porosidade aberta se obteve com a seguinte fórmula:

$$P_{ab} = \frac{v}{V} = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} \times 100 [\%]$$

Equação 4.13

em que

$v$  – volume de vazios do provete.

Mais uma vez, o valor final obtido para cada argamassa corresponde à média dos valores dos 3 provetes ensaiados.

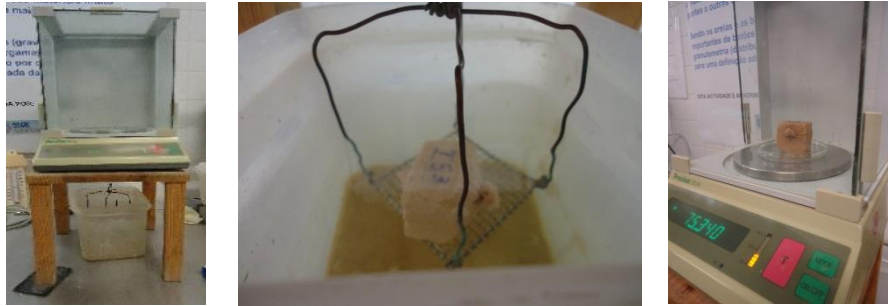


Figura 4.55 - Porosidade aberta/Massa volúmica. a) Balança + suporte imerso; b) Pesagem hidrostática; c) Pesagem normal.

Na Figura 4.56 e Figura 4.57 não estão representados os desvios-padrão, apenas os valores médios, uma vez que estes ficariam sobrepostos e esse facto dificulta a correcta apreciação visual.

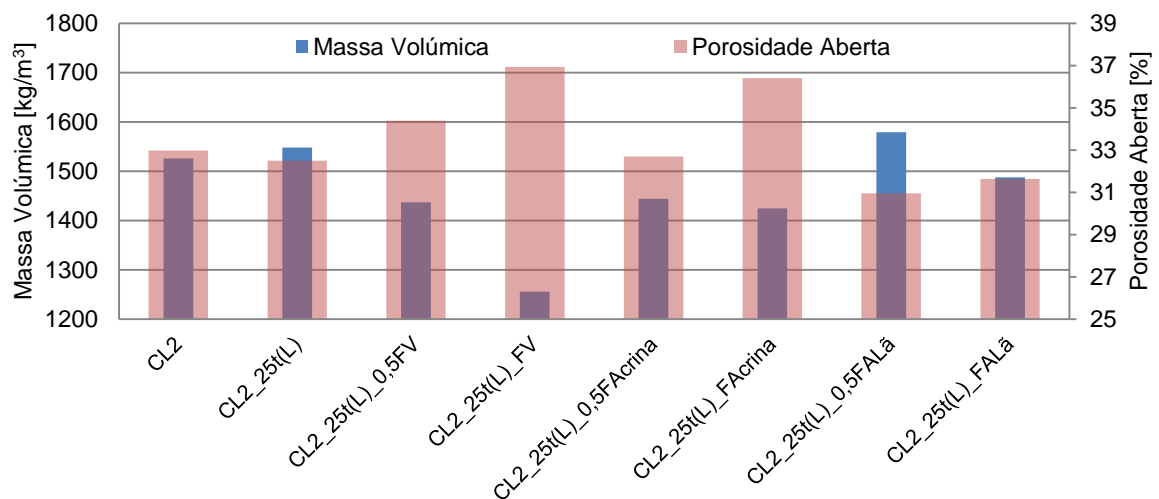


Figura 4.56 – Massa volúmica e porosidade aberta aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

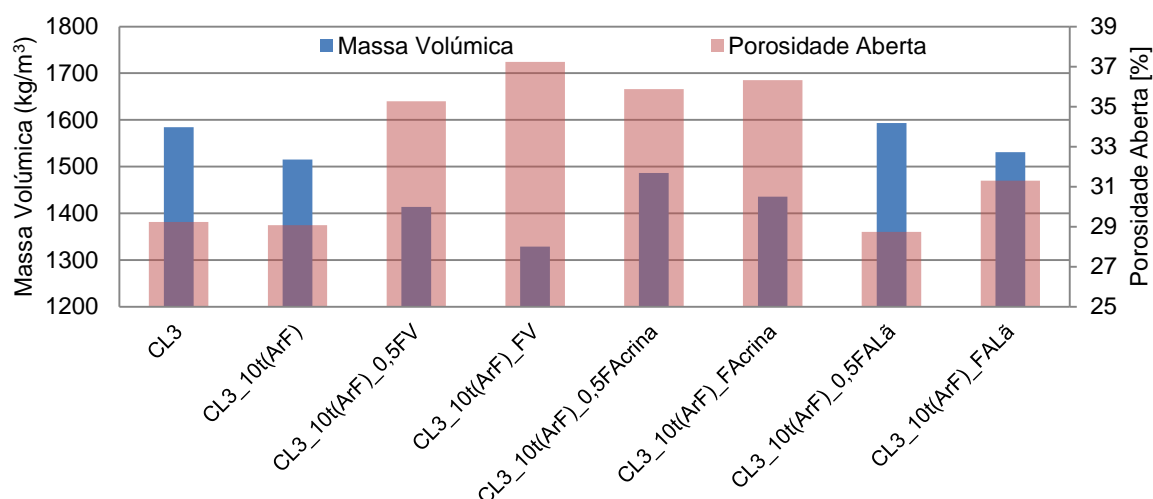


Figura 4.57 – Massa volúmica e porosidade aberta aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3.

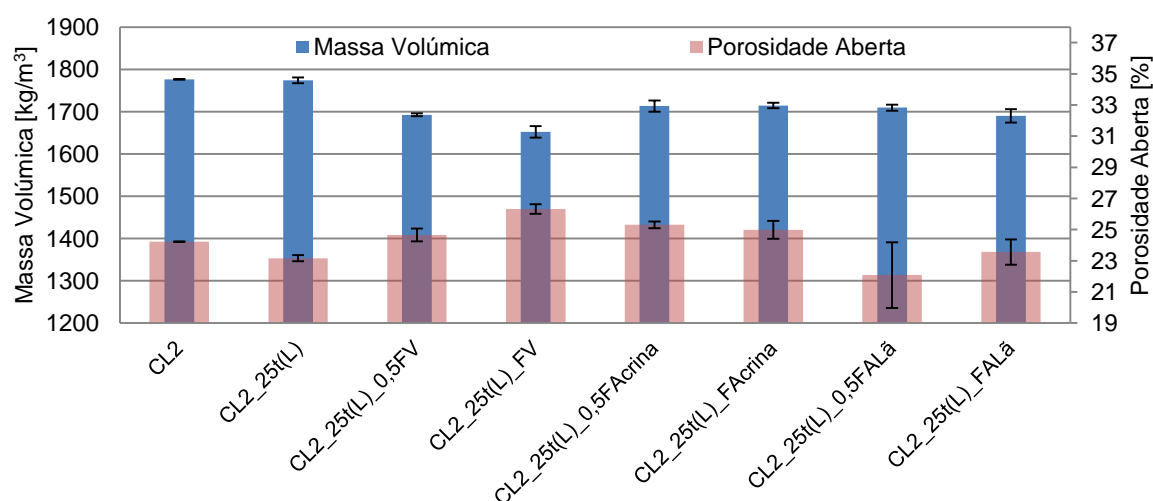


Figura 4.58 - Massa volúmica e porosidade aberta aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

Pela análise gráfica é possível concluir que, com o passar do tempo, todas as argamassas em estudo aumentam a sua massa volúmica e diminuem a sua porosidade aberta, sendo estas duas características inversamente proporcionais. Este facto era o mais expectável e justifica-se com o avanço do processo de carbonatação da cal presente nas misturas. Para além disso, também se percebe que a introdução de fibras diminui a massa volúmica e aumenta a porosidade aberta, com maior impacto no caso da introdução de maiores dosagens de fibras vegetais. No entanto essa diferença vai se desvanecendo com o passar do tempo. Consequentemente, as argamassas de referência apresentam os maiores valores de massa volúmica, sem se evidenciar grande impacto com a introdução da terra.

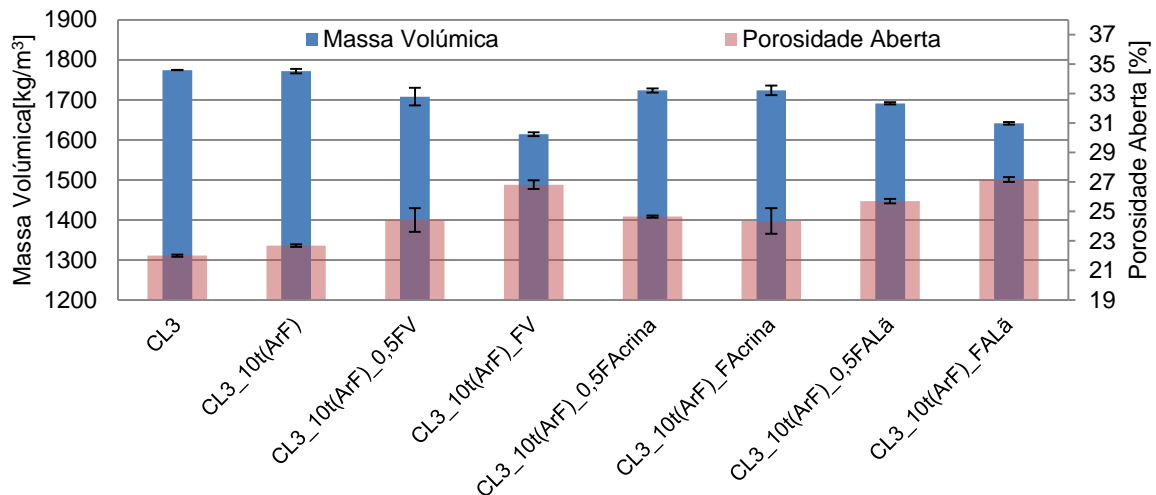


Figura 4.59 - Massa volúmica e porosidade aberta aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:3.

Relativamente ao traço, este não se revela muito significativo para qualquer das características, uma vez que se se compararem os gráficos dos 180 dias (Figura 4.58 e Figura 4.59), é notória grande semelhança entre os valores obtidos para as argamassas de ambos os traços.

#### 4.2.1.9 Resistência aos sulfatos

O ensaio de resistência aos sulfatos foi realizado com base na norma NP EN 12370 (IPQ 2001), que tem como objectivo avaliar os danos causados pela cristalização de sais em pedras naturais. Uma vez que o procedimento descrito por esta norma é demasiado destrutivo para argamassas de cal, a solução de imersão foi corrigida por forma a ser menos agressiva, utilizando-se uma solução de imersão de 3,09% do sulfato de sódio anidro,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , (metade do valor definido pela norma baseados em estudos anteriores; Faria 2004). Os provetes utilizados eram resultantes dos ensaios de capilaridade e secagem, tendo sido anteriormente ao ensaio colocados em estufa ventilada a 105°C durante 48h de forma a atingirem massa constante.

O ensaio iniciou-se com a preparação de uma solução de 3,09% de sulfato de sódio anidro diluindo 329g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  em cada 10 litros de água da torneira e colocou-se num recipiente plástico com tampa e com uma rede de borracha no fundo para permitir a absorção pela base dos provetes ensaiados (Figura 4.60a e b). De seguida retiraram-se os provetes da estufa, deixaram-se arrefecer em condições de laboratório durante 30-40 minutos e pesaram-se individualmente numa balança de precisão 0,001g de modo a saber-se a massa inicial de cada provete. Posto isto, colocaram-se os provetes no interior da caixa por forma a ficarem submersos na solução, garantindo as distâncias mínimas mencionadas na norma:  $8 \pm 2$  mm de altura de solução acima dos provetes, 10 mm de espaçamento entre provetes e 20 mm de espaçamento entre os provetes e as paredes da caixa (Figura 4.60c). Após duas horas submersos, os provetes foram retirados da caixa e novamente colocados na estufa durante 24 horas. No dia seguinte estes foram retirados da estufa e pesados novamente, perfazendo assim um ciclo de imersão/secagem.

A variação da massa ao longo dos ciclos decorridos é avaliada através da seguinte equação:

$$\Delta m = \frac{m_i - m_0}{m_0} (\%)$$

Equação 4.14

Onde:

$m_i$  – Massa do provete no ciclo  $i$  [g];

$m_0$  – Massa inicial do provete [g]

À semelhança de dissertações anteriores, este ensaio terminou ao fim de 25 ciclos. No entanto, no presente trabalho, após o primeiro ciclo de imersão/secagem os provetes estiveram cinco dias na estufa até atingirem massa constante, de forma a obter-se a massa inicial de sulfatos retidos.



Figura 4.60 – Ensaio de Resistência aos Sulfatos. a) Preparação da solução; b) Recipiente de plástico; c) Provetes devidamente submersos e afastados.

A exibição dos gráficos que mostram a variação de massa ao longo dos ciclos será feita isoladamente nas Figura 4.61, Figura 4.62, Figura 4.63 e Figura 4.64. Isto deve-se ao facto do elevado número de provetes exigir gráficos de grandes dimensões para se proceder à sua correcta leitura.

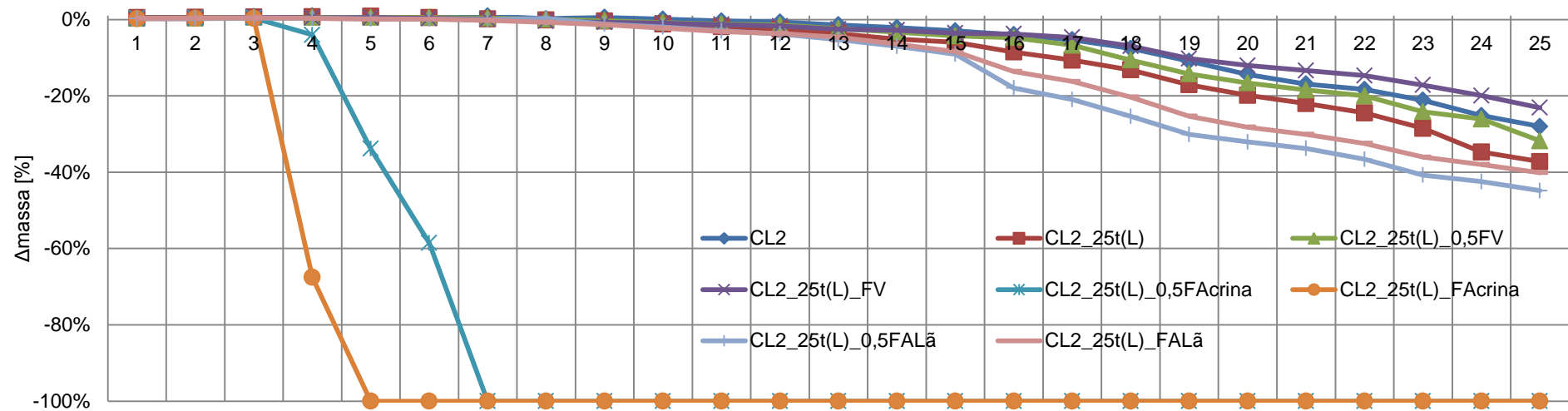


Figura 4.62 – Variação de massa dos provetes ao longo dos 25 ciclos de imersão/secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

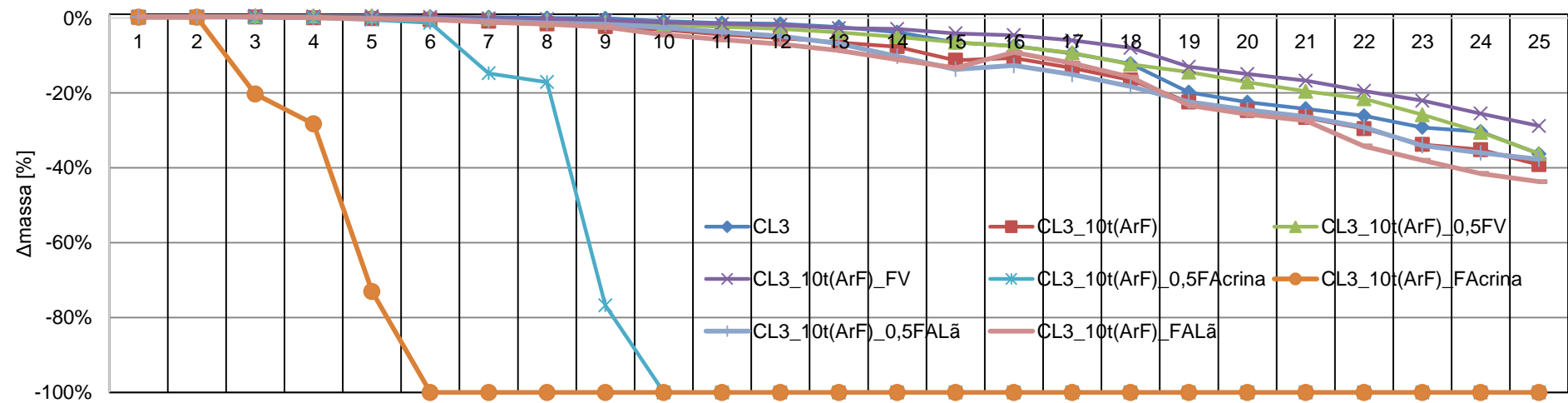


Figura 4.61 - Variação de massa dos provetes ao longo dos 25 ciclos de imersão/secagem aos 90 dias – Argamassas com base no traço 1:3.

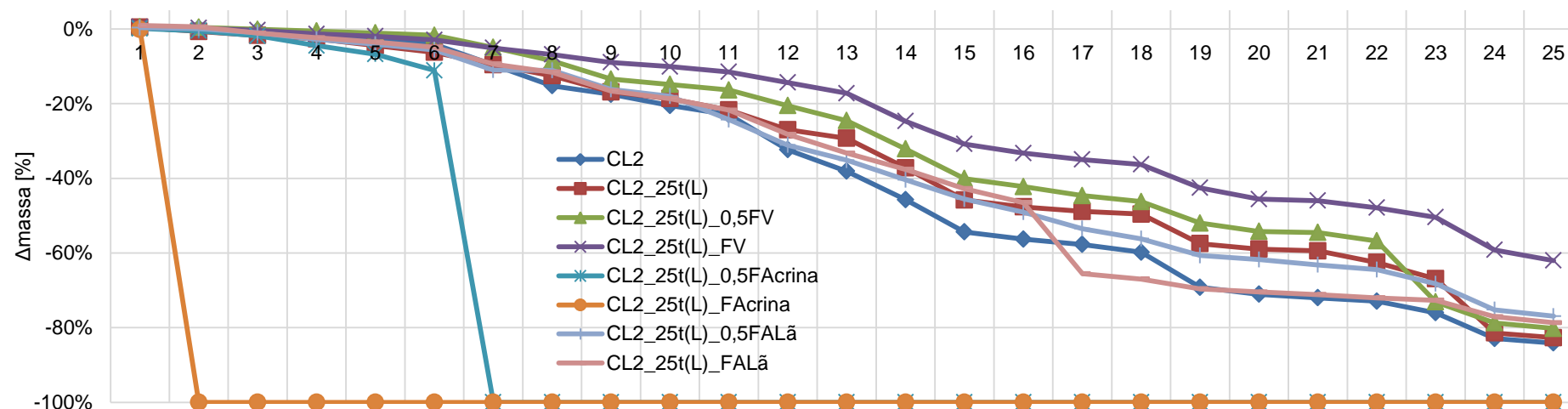


Figura 4.64 - Variação de massa dos provetes ao longo dos 25 ciclos de imersão/secagem aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:2.

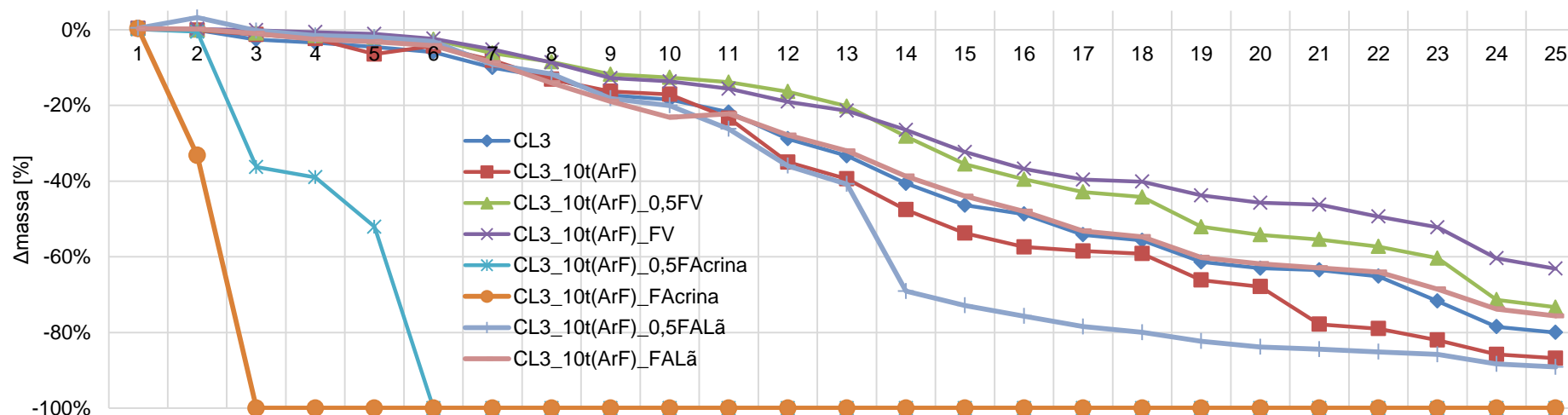


Figura 4.63 - Variação de massa dos provetes ao longo dos 25 ciclos de imersão/secagem aos 180 dias – Argamassas com base no traço 1:3.



De seguida apresenta-se na Figura 4.65 e na Figura 4.66 as variações de massa dos provetes ao fim dos 25 ciclos de imersão/secagem, em termos de valor médio e desvio padrão, para as argamassas de traço 1:2 e traço 1:3, respectivamente.

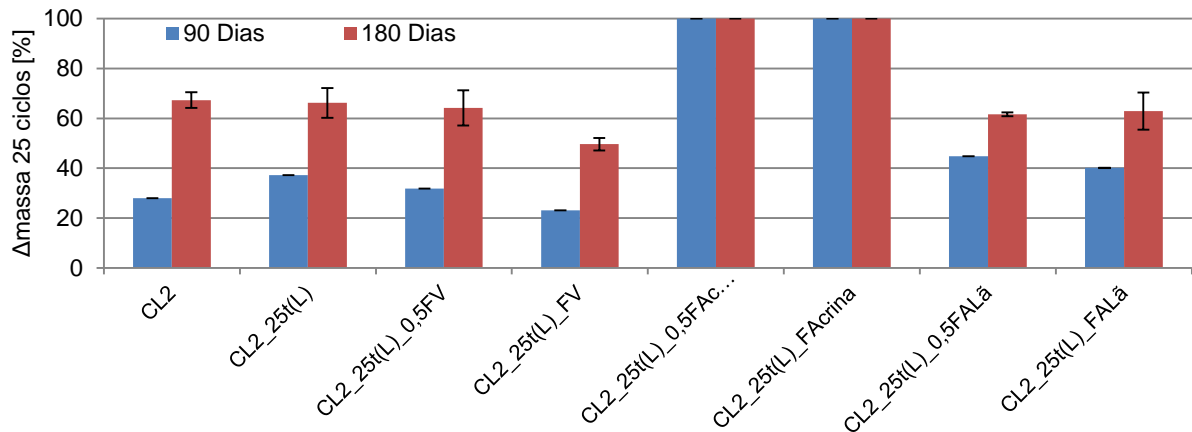


Figura 4.65 – Variação de massa ao fim de 25 ciclos de ensaio de resistência aos sulfatos – Argamassas com base no traço 1:2.

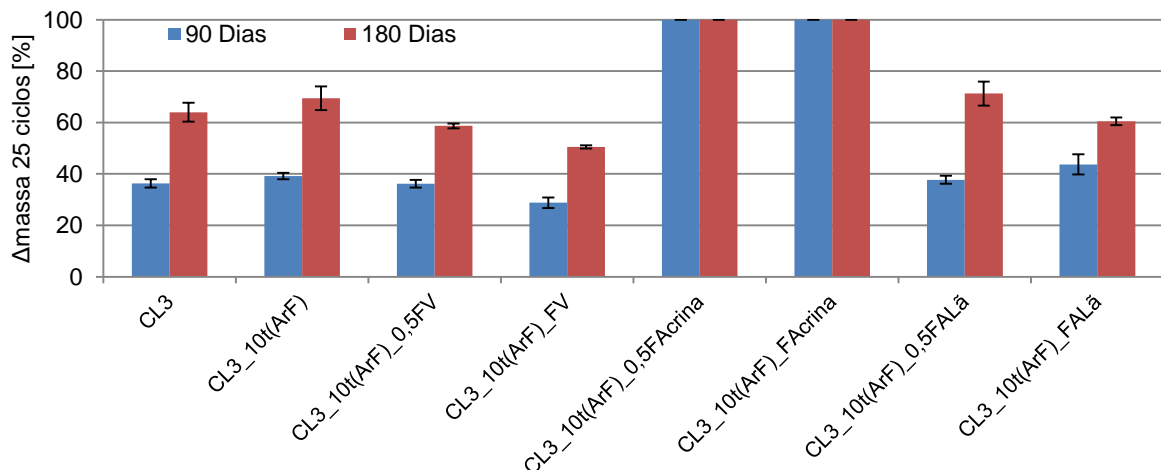


Figura 4.66 - Variação de massa ao fim de 25 ciclos de ensaio de resistência aos sulfatos – Argamassas com base no traço 1:3.

Como se compreende pelos gráficos apresentados anteriormente, a presença de crina de cavalo nas argamassas é incompatível com a solução de sulfato de sódio anidro, dado que os provetes que a contêm desfazem-se ao fim de pouco ciclos (entre 2 e 7, depende da argamassa). Ao contrário dos restantes provetes, os que possuem crina de cavalo destroem-se ao mínimo toque e o ensaio termina quando estes ainda têm um aspecto como o da Figura 4.67, ao contrário dos restantes que se vão desgastando exteriormente durante os ciclos até reduzirem e ficarem com a forma de um “croquete”.



Figura 4.67 – Aspecto de um provete de CL2\_25t(L)\_FAcrina ao fim do 3º ciclo – 90 dias.

Através dos resultados das restantes argamassas é possível concluir que a introdução de lã de ovelha não altera o comportamento das argamassas estudadas relativamente à sua resistência aos sulfatos; no entanto a introdução de uma grande dosagem de fibras vegetais condiciona positivamente o seu comportamento face à presença de sulfatos. Por fim, é ainda possível afirmar que é transversal a todas as argamassas a perda de resistência aos sulfatos dos 90 para os 180 dias de idade.

#### **4.2.2. Provetes de argamassa em suporte de tijolo**

Aos 16 provetes de argamassa em suporte de tijolo (20x30x7) caracterizados neste trabalho foram realizados 4 ensaios diferentes a 3 idades distintas (28, 90 e 180 dias), pela seguinte ordem:

- Condutibilidade térmica;
- Dureza superficial por durómetro;
- Velocidade de propagação de ultra-sons;
- Absorção de água sob baixa pressão.

##### **4.2.2.1 Condutibilidade térmica**

Para a realização deste ensaio sobre provetes em suporte de tijolo foi utilizado um equipamento (ISOMET 2104 (Heat Transfer Analyser) e a respectiva sonda de superfície API 210412) e um procedimento semelhantes ao seu homónimo realizado em provetes prismáticos e descrito no ponto 4.2.1.2. A única diferença é que neste caso foram avaliados 6 pontos distintos distribuídos pela superfície de argamassa, sendo que o resultado final obteve-se através da média dos 6 valores de condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) em W/(m.K). Em termos de erros associados está o facto da superfície de aplicação da sonda não ser perfeitamente lisa. Contudo, a espessura de reboco respeita os 1,5 cm estipulados como mínimo no manual do equipamento. No caso da Figura 4.68 é perfeitamente visível a irregularidade da superfície da argamassa, que se verificava com maior incidência nos provetes que continham casca de arroz.

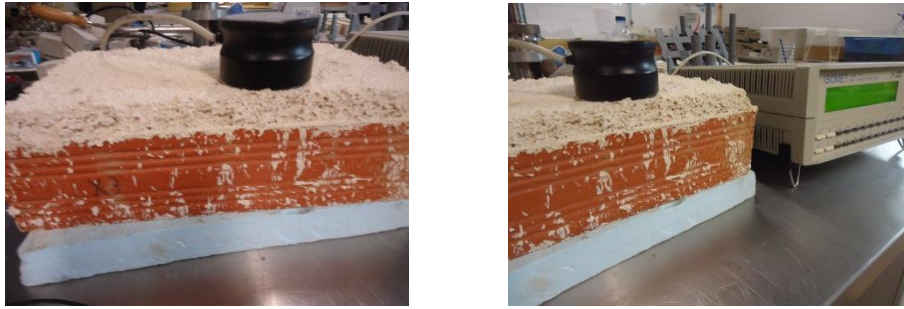


Figura 4.68 – Ensaio de condutibilidade térmica de provetes em suporte de tijolo.

No que toca aos resultados obtidos, em termos de valor médio e desvio padrão, é possível observar pelas Figura 4.69 e Figura 4.70 que a condutibilidade térmica das argamassas estudadas aumenta com o passar do tempo, ou seja dos 28 para os 180 dias de idade. Em termos de fibras adicionadas, as argamassas que se revelaram com melhor comportamento face à condutibilidade térmica foram as que continham fibras vegetais, contrariamente às argamassas com lã de ovelha que apresentam os resultados mais elevados de condutibilidade térmica. As tendências destes resultados são um tanto semelhantes às que já se tinham verificado nos provetes prismáticos, comprovando assim a sua boa fiabilidade.

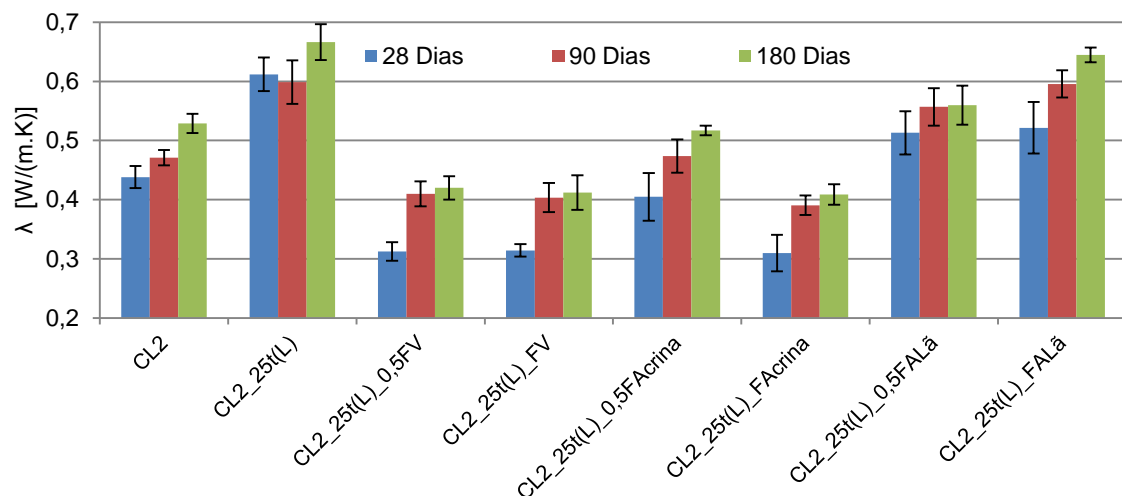


Figura 4.69 - Condutibilidade térmica de provetes em suporte de tijolo – Argamassas com base no traço 1:2.

Os valores de condutibilidade térmica variam entre 0,292 W/m.K da CL3\_10t(ArF)\_FAcrina e 0,666 da CL2\_25t(L).

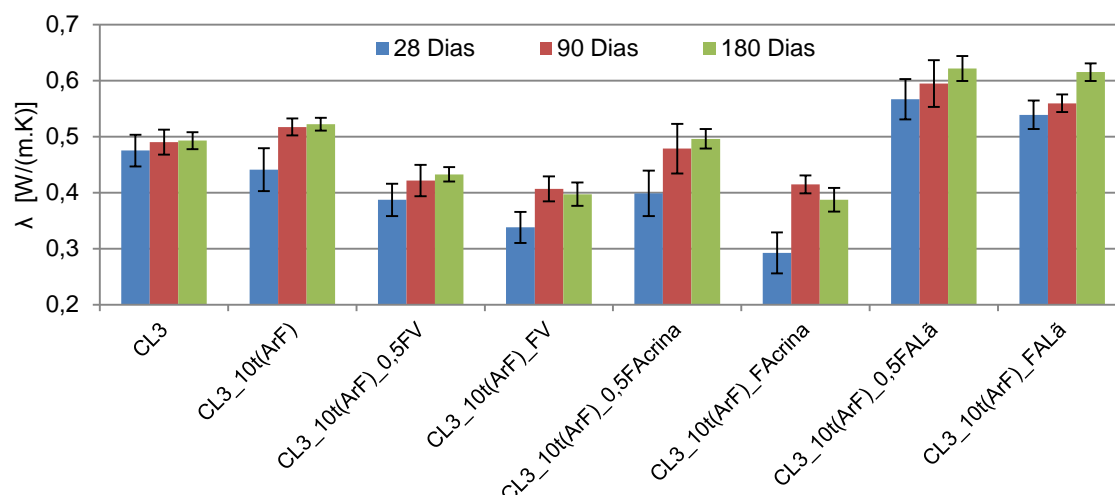


Figura 4.70 - Condutibilidade térmica de provetes em suporte de tijolo – Argamassas com base no traço 1:3.

#### 4.2.2.2 Dureza superficial por durómetro Shore A

O equipamento utilizado foi um durómetro PCE Shore A, que mede a resistência à penetração de um pino pressionado contra o material em estudo. Os durómetros possuem escalas Shore A e D consoante o tipo de material (macio a duro) cujos valores de resistência à penetração variam entre 0 e 100 para os materiais mais duros (Pascoal 2012). Neste caso utilizou-se o durómetro Shore A (Figura 4.71a e b), que é o mais apropriado para materiais “macios”. Este ensaio apresentou algumas deficiências de precisão, nomeadamente devido ao facto das superfícies a ensaiar não serem lisas e homogêneas, o que por vezes originou valores muito fora do intervalo dos restantes.

Este ensaio determina a dureza superficial tendo por base a norma ASTM D2240 (2000) e iniciou-se com a limpeza da superfície de argamassa com uma pequena vassoura, de forma a eliminar o material solto que pudesse influenciar os resultados. Seguidamente encostou-se o durómetro à superfície da argamassa e leu-se o valor obtido no mostrador do durómetro (Figura 4.71c).

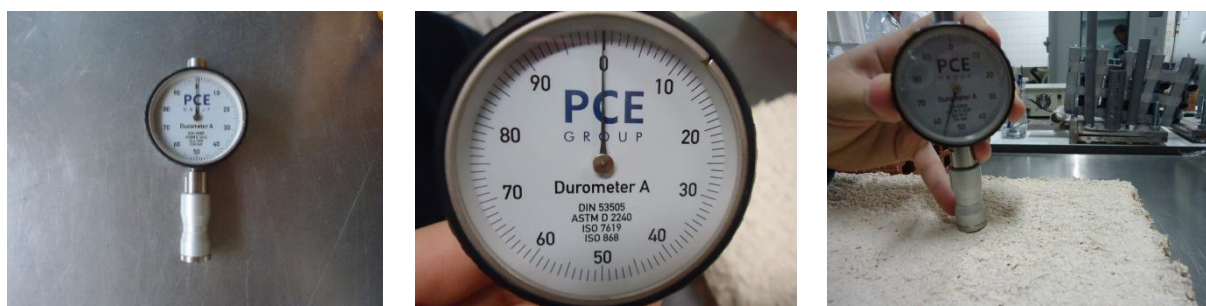


Figura 4.71 – a) e b) Durómetro; c) Medição da dureza superficial.

Para cada argamassa foram ensaiados dez pontos diferentes para cada provete e, como tal, o resultado final foi determinado pela média desses dez pontos. Os resultados obtidos da dureza superficial

dos provetes em estudo apresentam-se de seguida em forma de gráfico na Figura 4.72 e Figura 4.73, em termos de valor médio e desvio padrão.

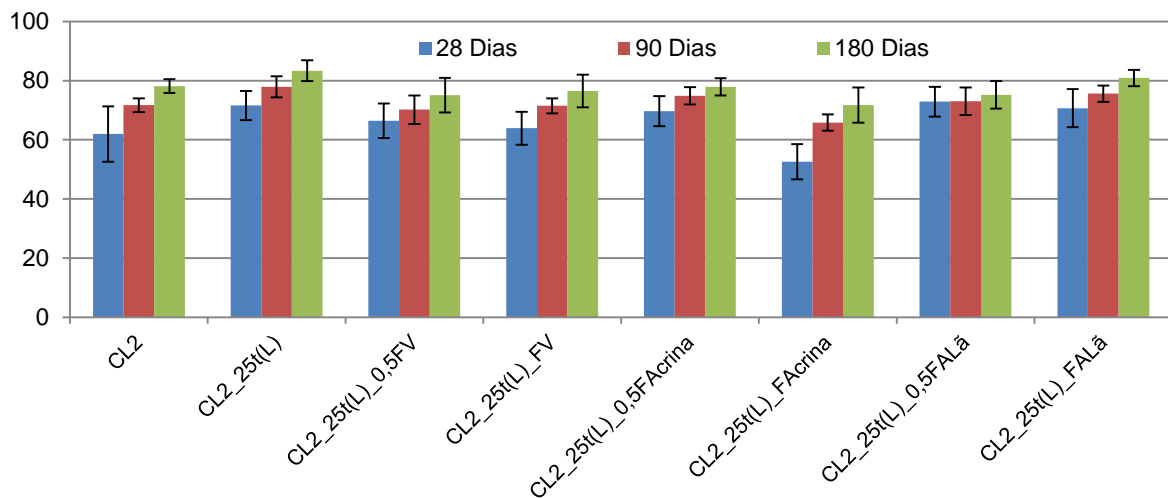


Figura 4.72 – Dureza superficial por durómetro Shore A – Argamassas com base no traço 1:2.

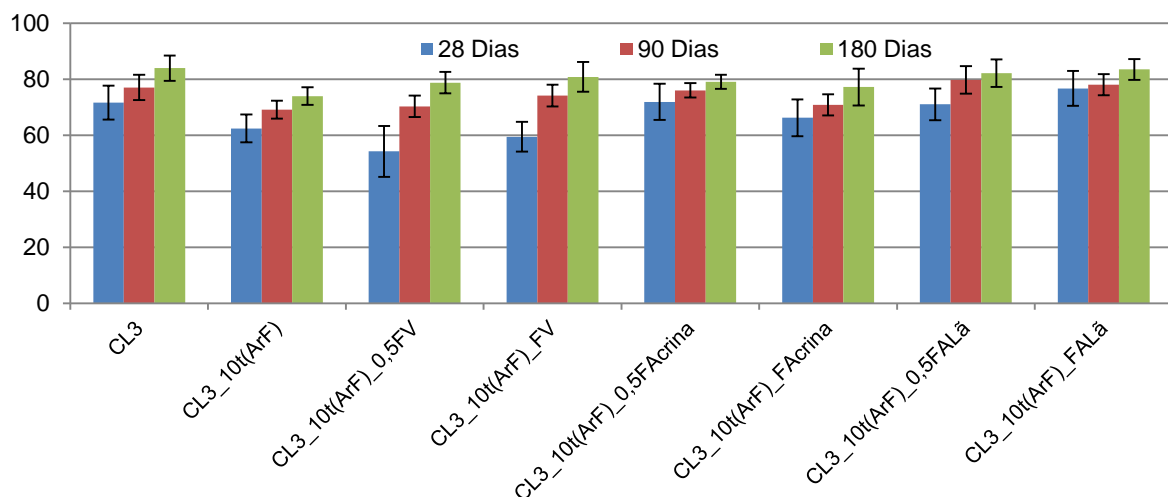


Figura 4.73 - Dureza superficial por durómetro Shore A – Argamassas com base no traço 1:3.

Através da observação dos gráficos obtidos não é possível concluir qual a argamassa que se destaca pela sua dureza superficial, isto porque todas as argamassas apresentam resultados semelhantes quando analisadas à mesma idade. No entanto facilmente se percebe que a dureza superficial das argamassas em estudo aumenta com o passar do tempo, quer dos 28 para os 90 dias, quer dos 90 para os 180 dias. Com valores entre 62-77 aos 28 dias, 66-80 aos 90 dias e 72-84 aos 180 dias.

#### 4.2.2.3 Velocidade de propagação de ultra-sons

O procedimento adoptado na realização deste ensaio foi semelhante ao descrito no ponto 4.2.1.3, baseado na mesma ficha de ensaio LNEC FE Pa 43 (2010) e utilizando o mesmo material. No entan-

to, dado ao diferente tipo de provetes a ensaiar, foram efectuadas algumas alterações a esse procedimento. Nomeadamente na definição de seis pontos (de “A” a “F”) no material a ensaiar, com a ajuda de uma folha de papel com marcações, todos eles com distâncias semelhantes para homogeneizar os resultados obtidos para os diversos provetes.

Tabela 4.5 – Distância entre os 6 pontos (de “A” a “F”).

	Distâncias (mm)
AB	98,5
AC	196,0
AD	107,2
AE	147,1
AF	223,4
FB	146,1
FC	110,9
FD	197,9
FE	98,1

Após a marcação dos pontos, colocou-se gel condutor sobre todos eles e de seguida colocou-se um dos transdutores no ponto A, e o outro no ponto B e efectuou-se essa medição 3 vezes. De seguida manteve-se o ponto A fixo e moveu-se o outro transdutor anteriormente no ponto B para o ponto C e repetiu-se a medição sucessivamente até se chegar ao ponto F. Posto isso, fixou-se o transdutor que se encontrava no ponto F e moveu-se o que se encontrava fixo no ponto A para o ponto B e assim sucessivamente até se efectuar a medição de velocidade final, entre o ponto F e E.

Os resultados fornecidos pela máquina dos ultra-sons são em tempo [ $\mu$ s] e, uma vez conhecida as distâncias entre os 6 pontos, posteriormente estes foram convertidos em velocidades de atravessamento [m/s].



Figura 4.74 - Velocidade de propagação dos ultra-sons em provetes em suporte de tijolo; a) Folha para marcação de pontos; b) Equipamento; c) Realização do ensaio.

A velocidade de atravessamento entre cada dois pontos é resultante da média dos 3 tempos medidos pela máquina, e os resultados finais apresentam-se de seguida concentrados em forma de gráfico na Figura 4.75 e Figura 4.76.

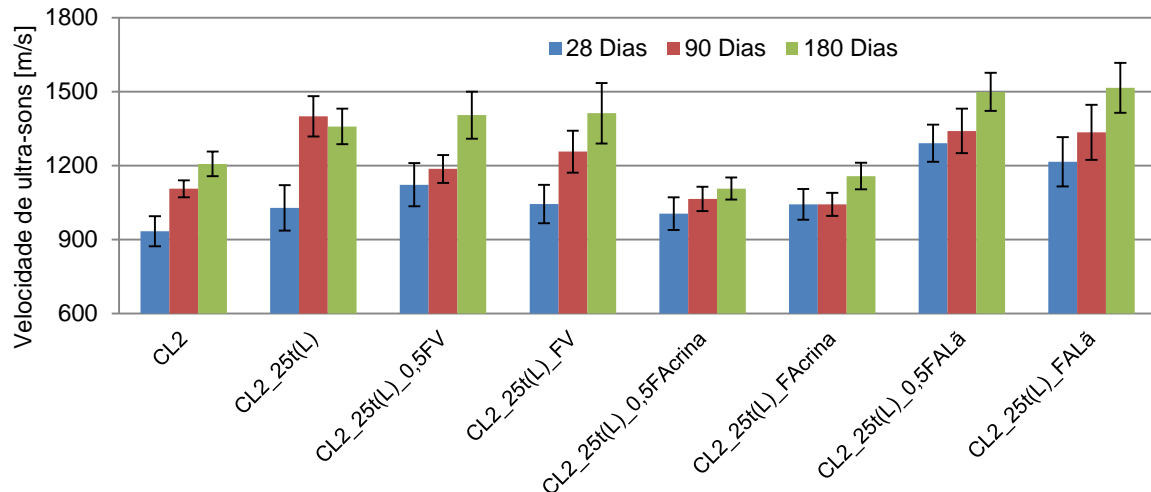


Figura 4.75 – Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em suporte de tijolo – Argamassas com base no traço 1:2.

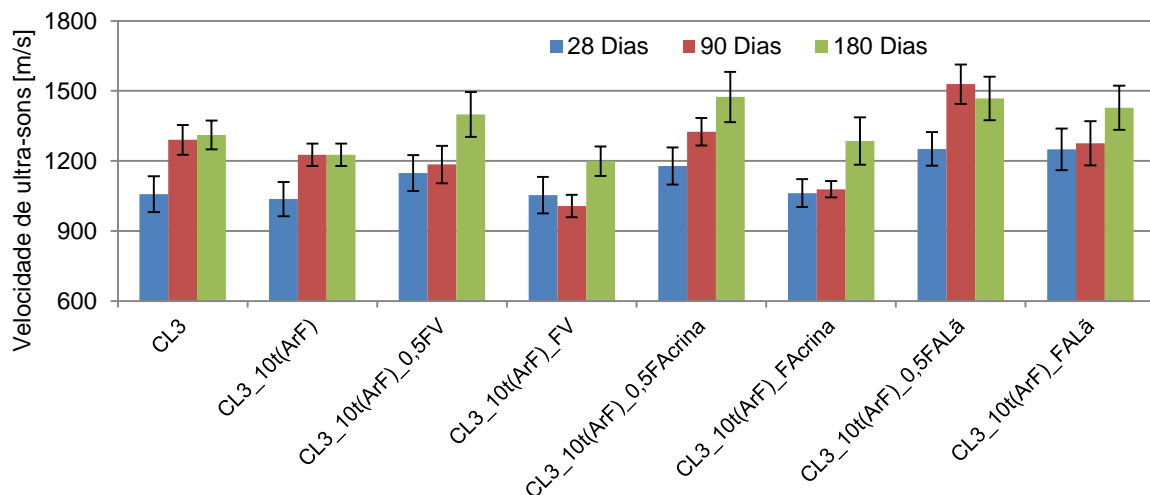


Figura 4.76 - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em suporte de tijolo – Argamassas com base no traço 1:3.

Pela observação das figuras constata-se que a velocidade de propagação de ultra-sons, na generalidade das argamassas estudadas, aumenta com o passar do tempo e consequente avanço do processo de carbonatação. Para as argamassas de traço 1:2 verifica-se que a adição de crina de cavalo conduz a valores mais baixos de velocidade de propagação, enquanto a adição de lã de ovelha proporciona as maiores velocidades de propagação de entre as argamassas estudadas. Quando às argamassas de traço 1:3, mantém-se o facto da adição de lã de ovelha conduzir a valores elevados de velocidade de propagação. No entanto, para as restantes fibras as menores dosagens correspondem a valores mais altos de velocidades de propagação comparativamente com a argamassa de maior dosagem da mesma fibra (por ex. CL3\_10t(ArF)\_0,5FV apresenta muito mais velocidade de propagação que CL3\_10t(ArF)\_FV). Por fim, relativamente à substituição por terra, apenas se verificou um ligeiro aumento de velocidade na argamassa CL2\_25t(L) em relação à referência CL2.

#### 4.2.2.4 Absorção de água sob baixa pressão

A capacidade/incapacidade de absorção de água por parte de uma argamassa é uma característica determinante para a vida útil de uma argamassa, bem como perceber que tipo de funções esta pode assumir e em que locais se pode aplicar. Na presente dissertação, para avaliar essa característica, realizou-se um ensaio de absorção de água sob baixa pressão através da utilização de tubos de Karsten, de acordo com a ficha de ensaio Fe Pa 39 (LNEC 2002) e o Test N.ºII.4 da RILEM (RILEM, 1980). Este ensaio foi o último a ser realizado aos provetes em suporte de tijolo, uma vez que a elevada presença de água necessária para a sua realização altera as características da argamassa e, desta forma, influenciaria os resultados dos ensaios que se realizassem *a posteriori*. O equipamento necessário para a realização deste ensaio foi: um cronómetro, plasticina, esguicho, água da torneira e 3 tubos de Karsten para cada provete (tubos de Karsten são dispositivos de vidro graduados de 0 a 4 cm<sup>3</sup>, em forma de cachimbo, com uma parte inferior em formato cilíndrico com fundo fechado, Figura 4.77a).

A preparação do ensaio iniciou-se com a moldagem de pequenas circunferências de plasticina com tamanho igual à abertura inferior dos tubos de Karsten. De seguida colocou-se a plasticina em redor da abertura de 6 tubos de Karsten necessários para execução do ensaio, uma vez que neste trabalho se ensaiaram 2 provetes de cada vez. Seguidamente os tubos com plasticina foram pressionados contra a superfície do provete, de forma a garantir a melhor colagem e estanquidade possível, tentando ao mesmo tempo evitar a entrada de plasticina para o interior da abertura do tubo e consequente redução da área de absorção.

A cronometragem do ensaio iniciou-se com o enchimento do primeiro tubo, seguido dos restantes com 1 minuto de desfasamento entre cada um, o que significou que o sexto tubo foi enchido 5 minutos depois do início do ensaio (Figura 4.77b). Com o decorrer do tempo e sempre que nalgum tubo o nível de água atingisse o nível mínimo graduado (4 ml), esse tubo era reenchido novamente até aos 0 ml e tomava-se nota do acontecimento (Figura 4.77c). Para além das notas referidas anteriormente, sempre que cada tubo atingia os 5, 10, 15, 30 e 60 minutos de ensaio, media-se o nível de água em cada tubo, a fim de se saber a quantidade exacta de água absorvida em cada intervalo de tempo estudado. Por fim, passados 60 minutos do enchimento do último tubo deu-se o ensaio por terminado e repetiu-se o procedimento para os restantes provetes em suporte tijolo estudados.

Durante a realização deste ensaio registaram-se inúmeras dificuldades de execução, nomeadamente a queda de diversos tubos por falta de aderência da plasticina, havendo mesmo provetes que apenas mantiveram tubos até aos 30 min e a incapacidade de algumas argamassas absorverem a água do ensaio, tendo esta saído em grandes quantidade pela parte inferior e/ou sido absorvida pelo tijolo. De acordo com Apps (2011) no que diz respeito aos materiais de fixação, o silicone transparente apresenta as melhores características de material vedante e a plasticina não se recomenda pois apresenta maiores dificuldades de fixação, bem como piores características. Também não se deveria ter procedido ao ensaio de tubos aderidos tão próximo uns dos outros, pela área de influência de cada um



não ser suficientemente individualizada e independente. Por estas razões, haverá mais rigor nas medições efectuadas em períodos de tempo não muito prolongados.



Figura 4.77 – Absorção de água sob baixa pressão; a) Tubo de Karsten; b) Visão global do ensaio a decorrer; c) Reenchimento de um tubo.

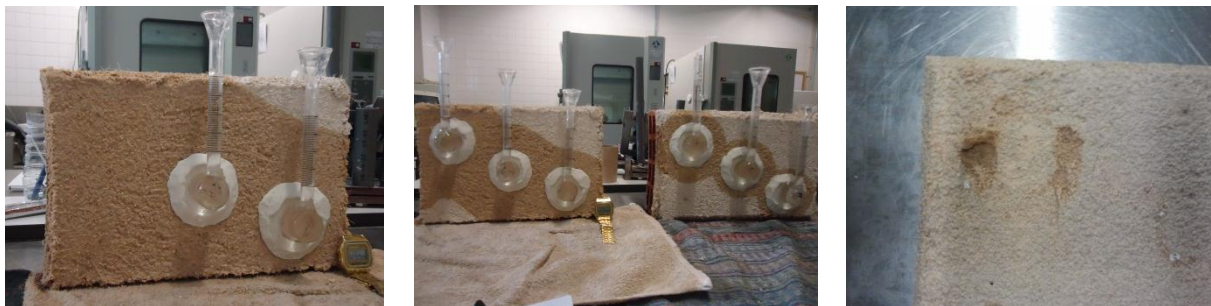


Figura 4.78 – Absorção de água sob baixa pressão; a) Queda prematura de um tubo por falta de aderência; b) Provete com capacidade de absorção diferentes; c) Estragos no provete (lã) após retirado o tubo.

Através dos resultados recolhidos na execução deste ensaio foi possível avaliar a capacidade de absorção das argamassas de três formas distintas: através da quantidade de água absorvida ao fim de 60 min, pelo tempo necessário para absorver os 4 mililitros iniciais e através da determinação do coeficiente de absorção de água de cada argamassa num determinado período de tempo, com base na Equação 4.15.

$$C_{\text{abs.T}} = \frac{X \times 10^{-3}}{d^2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \sqrt{t}\right)}$$

Equação 4.15

em que

$C_{\text{abs.T}}$  - coeficiente de absorção de água sob baixa pressão numa superfície [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{t}^{0.5})$ ];

X - quantidade de água absorvida [ml];

d - diâmetro do respectivo tubo em contacto com o suporte [mm];

t - duração da leitura [minutos].

Foram determinados o coeficiente de absorção total durante 1 hora de ensaio ( $C_{abs.T}$ ), em que X corresponde à quantidade de água absorvida em 1 hora ( $t = 60$  minutos), e o coeficiente de absorção do tempo necessário para absorver 4 ml de água ( $C_{abs.4ml}$ ), em que o t corresponde ao tempo necessário para absorver 4 ml de água ( $X = 4$  ml). São ambos apresentados em forma de gráfico nos anexos (A.4.1 – 28 dias, A.5.1 – 90 dias e A.6.1 – 180 dias).

Em primeiro lugar apresentam-se na Figura 4.79, Figura 4.80 e Figura 4.81 os resultados para a quantidade de água absorvida pelos provetes de traço 1:3, respectivamente aos 28, 90 e 180 dias.

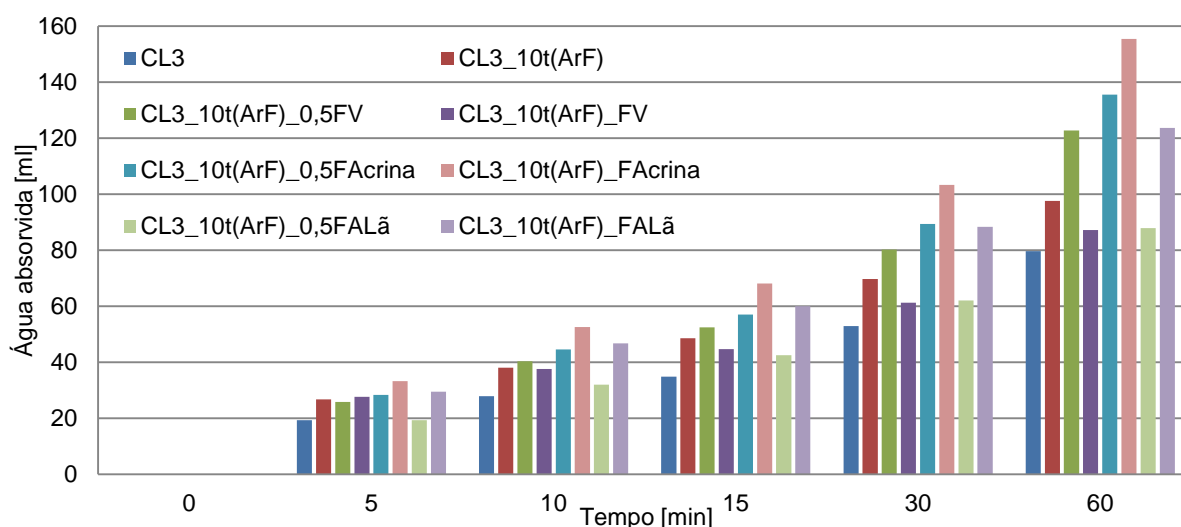


Figura 4.79 – Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:3 – 28 dias.

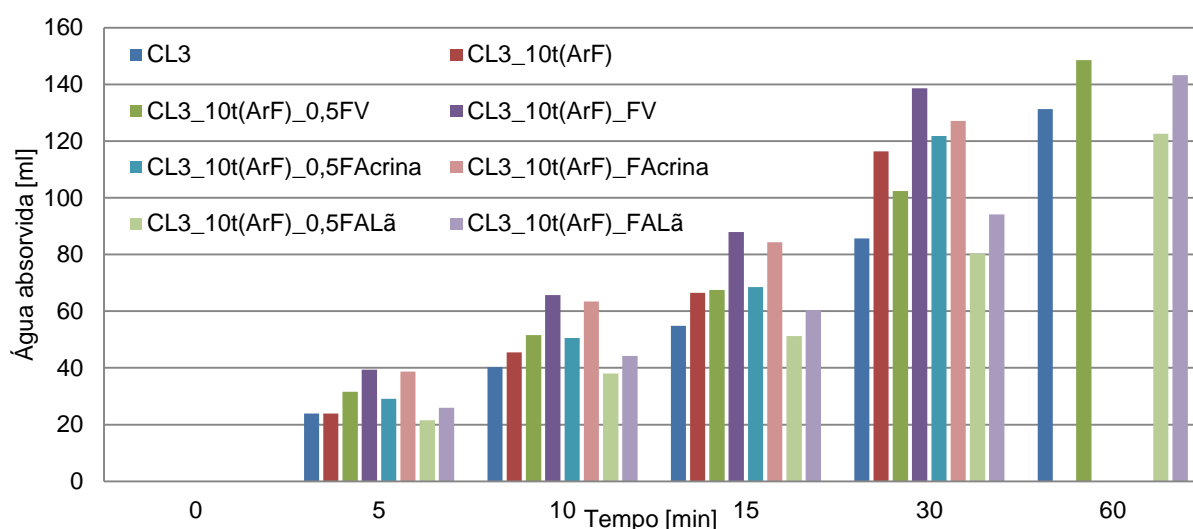


Figura 4.80 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:3 – 90 dias.

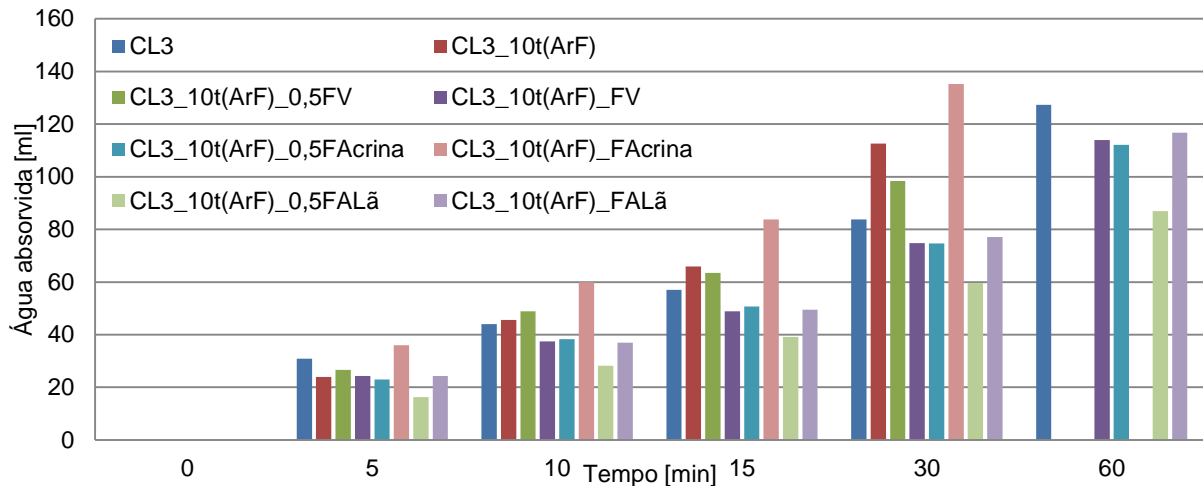


Figura 4.81 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:3 – 180 dias.

Pela observação dos gráficos apresentados na Figura 4.79, Figura 4.80 e Figura 4.81 percebe-se que, para as idades mais avançadas (90 e 180 dias), a quantidade de absorção de água das argamassas de traço 1:3 é superior, sendo que em algumas argamassas nem foi possível avaliar a quantidade de água aos 60 min, tal era a quantidade de água que saía pela parte inferior do provete.

Se for feita uma análise apenas dos instantes iniciais (5 ou 10 min), percebe-se que as argamassas que menos absorvem água são as duas de contêm lã de ovelha, seguidas das de referência, CL3 e CL3\_10t(ArF), respectivamente. Se a análise for feita ao total de água absorvida (60 min de ensaio), a tendência mantém-se uma vez que as únicas argamassas que completam os 60 minutos de ensaio para as três idades são CL3, CL3\_10t(ArF)\_0,5FALã e CL3\_10t(ArF)\_FALã.

Posto isto, apresentam-se na Figura 4.82, Figura 4.83 e Figura 4.84 os resultados para a quantidade de água absorvida pelos provetes de traço 1:2, nas mesmas idades que anteriormente.

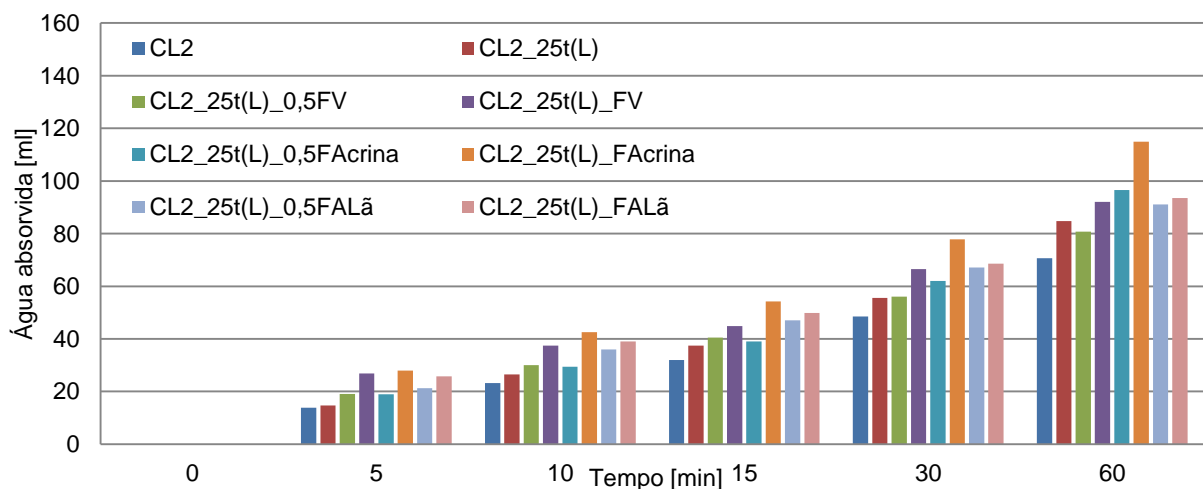


Figura 4.82 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:2 – 28 dias.

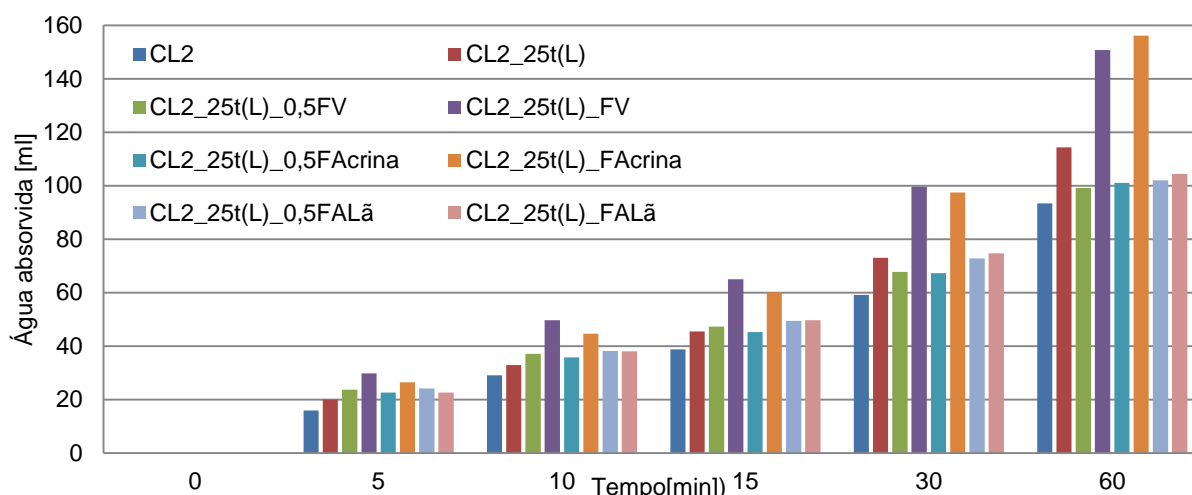


Figura 4.83 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:2 – 90 dias.

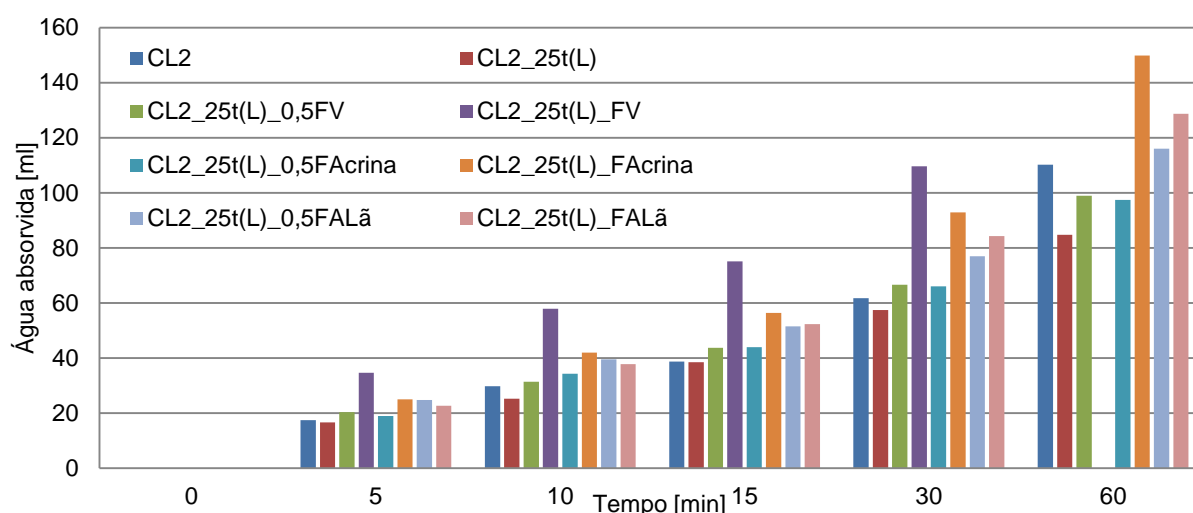


Figura 4.84 - Quantidade de água absorvida [ml] – Argamassas com base no traço 1:2 – 180 dias.

À semelhança do que se verificou para o traço anterior, também nas argamassas de traço 1:2 se verifica uma tendência de aumento da quantidade de água absorvida com a idade da argamassa. No entanto, a generalidade das argamassas de traço 1:2 absorvem menor quantidade de água se comparadas com as argamassas de traço 1:3, salvo a exceção CL2\_25t(L)\_FV que não completou os 60 minutos de ensaio aos 180 dias de idade. Tal como anteriormente, também neste caso o par de argamassas com fibras que menos água absorveu foi o par que contem lã de ovelha; no entanto a diferença para os restantes já não é tão acentuada. Neste caso as argamassas de referência revelaram-se, na generalidade, menos absorventes de água que todas as outras.

Por fim, apresentam-se os resultados relativos à absorção inicial de 4 ml de água, em termos de valor médio e desvio padrão, na Figura 4.85 e Figura 4.86. De recordar que os resultados relativos aos 4ml são mais fiáveis na sua globalidade comparativamente aos que compreendem a 1ª hora.

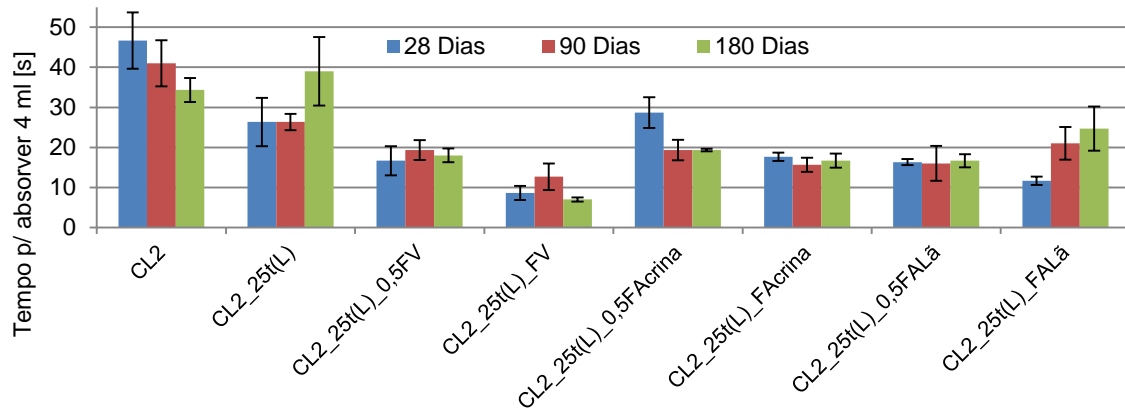


Figura 4.85 - Tempo para absorver 4 ml [s] – Argamassas com base no traço 1:2.

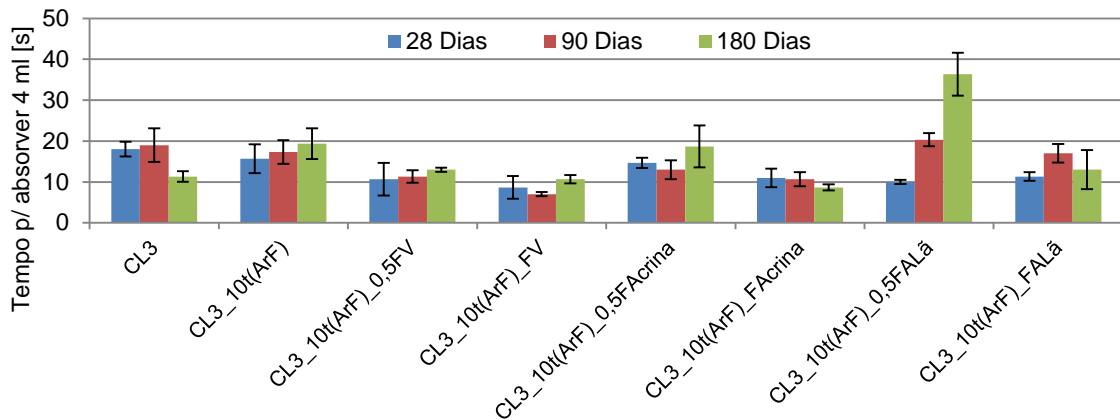


Figura 4.86 - Tempo para absorver 4 ml [s] – Argamassas com base no traço 1:3.

Pelas figuras conclui-se que as argamassas de traço 1:2 demoram mais tempo a absorver os 4 ml que as de traço 1:3 e que a introdução de fibras diminui o tempo de absorção. As argamassas com maior dosagem de fibras vegetais são as que absorvem mais rapidamente e as argamassas de referência de traço 1:2 são as que demoram mais tempo a absorver água. Fazendo uma comparação com as quantidades absorvidas ao fim de uma hora percebe-se que as argamassas que absorvem mais água não são as que absorvem mais rapidamente os primeiros 4 ml.

### 4.3. Rebocos de argamassas no Murete de Taipa

Os ensaios de caracterização efectuados no murete de taipa avaliaram as seguintes propriedades:

- Condutibilidade térmica;
- Dureza superficial (por durómetro);
- Dureza superficial (por esclerómetro);
- Absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten).

Por outro lado, os ensaios de caracterização realizados ao reboco aplicado sobre o murete de taipa foram os mesmos e aos 28 dias de cura, à excepção do ensaio que avalia a condutibilidade térmica que neste caso não se realizou.

#### 4.3.1. Caracterização do murete de taipa

Na Estação de Exposição Natural de Revestimentos do DEC da FCT UNL encontra-se um murete de taipa com orientação Nascente-Poente ao qual se procedeu a uma série de ensaios de caracterização ao seu lado Poente. Uma vez que o murete se encontra exposto às acções climáticas, é importante referir que os ensaios se efectuaram nos dias 22 e 24 de Abril de 2013 com temperaturas ambiente a rondar os 17-18°C às 10h da manhã e 24-25°C às 16h da tarde. Como as temperaturas ambiente foram medidas com um psicrómetro de roca, foi igualmente possível determinar a humidade relativa do ar, que de manhã se situava entre os 77-80% e de tarde entre os 40-43%. Este tipo de psicrómetro apresentar uma precisão com erros na ordem de 1°C em leituras que dão origem a 5-10% de erro na determinação de humidade relativa (Henriques, 1994). Com um termómetro de contacto obteve-se a temperatura superficial do murete em 10 pontos (Figura 4.87).

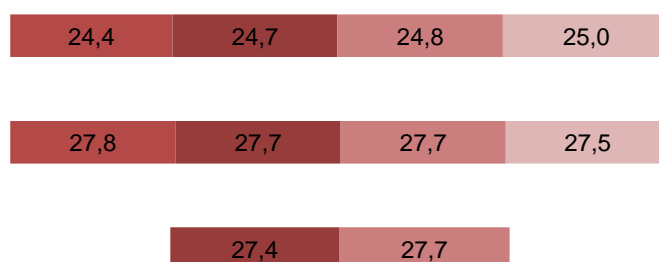


Figura 4.87 – Temperaturas superficiais do murete medidas às 16h (média 26,5°C).

Os ensaios de caracterização realizados no murete de taipa foram: a absorção de água sob baixa pressão (Tubos de Karsten), a resistência superficial por esclerómetro pendular e durómetro e a determinação da condutibilidade térmica. Estes ensaios foram realizados em 3 níveis horizontais (superior, central e inferior) e 4 níveis/painéis verticais (painel Norte, painel centro-Norte, painel centro-Sul e painel Sul), contudo não puderam ser realizados nos cantos inferiores do murete, uma vez que se encontram duas pequenas paredes de taipa adjacentes nessas zonas (Figura 4.88).

O ensaio de absorção de água sob baixa pressão foi realizado somente nos 2 níveis horizontais superiores, à semelhança do que foi realizado nos trabalhos de Dias, 2013 e Jamú, 2013 que caracterizaram o lado Nascente do murete.





Figura 4.88 – Murete de Taipa. a) Antes da aplicação do reboco; b) Depois da aplicação do reboco.

#### 4.3.1.1 Absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten)

Uma vez que se o suporte em questão é composto maioritariamente por terra argilosa, areia e alguma cal torna-se imprescindível testar a capacidade do mesmo para absorver água, com o intuito de se perceber a influência que este terá na absorção de água de amassadura das argamassas usadas na aplicação do reboco.

Este ensaio é utilizado para a medição da quantidade de água absorvida sob baixa pressão por determinada superfície de um material poroso, após determinado período de tempo, e realizou-se de acordo com a ficha de ensaio Fe Pa 39 (LNEC 2002) e o Test N.ºII.4 da RILEM (RILEM 1980).



Figura 4.90 - Disposição dos tubos de Karsten no murete de taipa.



Figura 4.89 – Pormenor da fixação de um tubo de Karsten.

Apesar de não ser perceptível na Figura 4.90, foram colocados em dois níveis diferentes 4 tubos graduados de 4 ml, portanto 8 no total. Estes foram fixos com plasticina estanque, vedando a toda a volta e garantindo a área de contacto central (Figura 4.89). Encheram-se os tubos até à marca 0 ml, com um desfasamento de 1 minuto entre cada tubo, e começou-se a cronometrar o tempo. Assim que a água chegou à marca 4 ml, encheu-se novamente cada tubo e contabilizou-se o número de vezes que cada tubo foi cheio, sucessivamente até os tubos caírem por falta de aderência ao suporte. Anotou-se ainda a quantidade de água absorvida aos 5, 10, 15 e 30 minutos de ensaio de cada um dos 8 tubos.

O facto de o murete ser de taipa dificultou a execução do ensaio uma vez que a superfície se encontrava muito irregular e, com avançar do tempo, a aderência ao suporte foi-se deteriorando, o que não permitiu que nenhum tubo perfizesse uma hora. Como tal atribui-se mais ênfase ao tempo necessário para absorver 4 ml de água, à quantidade de água absorvida aos 5 minutos e calculou-se ainda o coeficiente de absorção aos 5 minutos através da Equação 4.16:

$$C_{\text{abs.5min}} = \frac{w_{m5} * 10^{-3}}{\phi_m^2 * \frac{\pi}{4} * 10^{-6} * \sqrt{5}}$$

Equação 4.16

onde

$C_{\text{abs.5min}}$  – coeficiente de absorção ( $kg/m^2\sqrt{min}$ );

$W_{m5}$  – quantidade média de água absorvida em 5 minutos (ml);

$\phi_m$  – diâmetro médio do tubo em contacto com o murete de taipa (mm).

Tal como no ensaio realizado em suporte de tijolo, os resultados dos coeficientes de absorção serão apresentados em forma de gráfico em anexo (A.2. Valores da caracterização do murete de taipa).

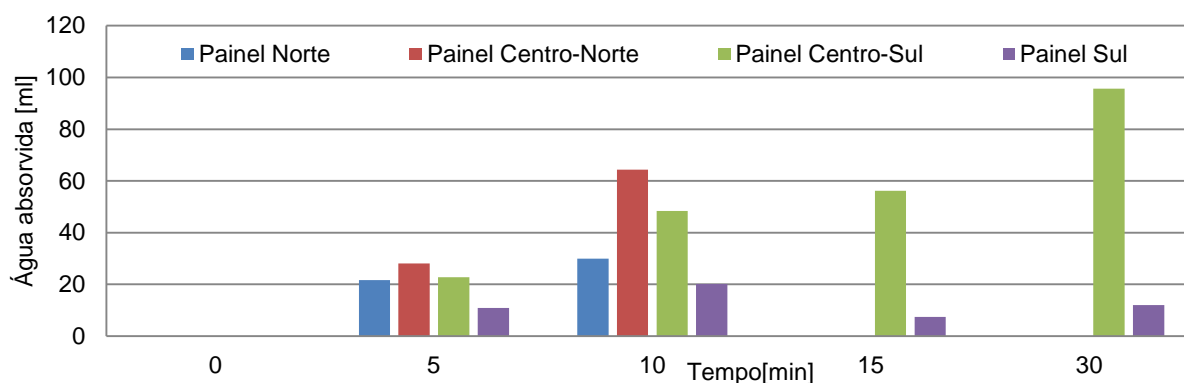


Figura 4.91 - Quantidade de água absorvida [ml] – Murete de taipa.

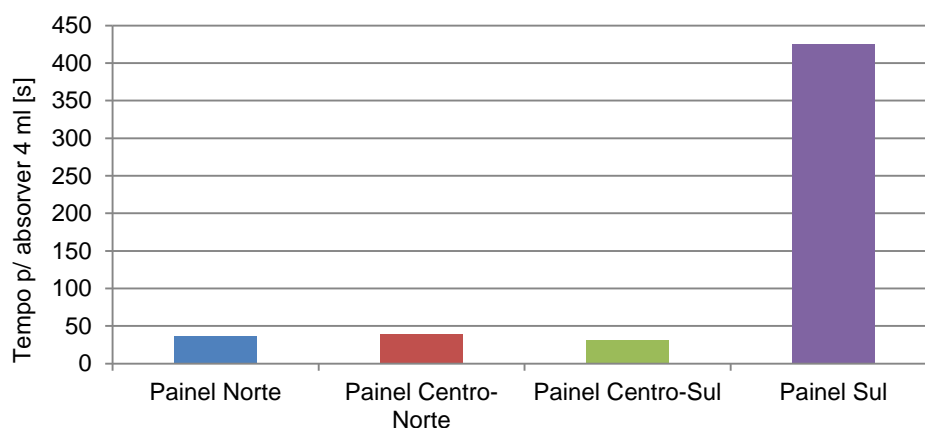


Figura 4.92 – Tempo para absorver 4 ml – Murete de Taipa.



As dificuldades de execução deste ensaio revelam-se nos resultados obtidos e, como é possível observar pela Figura 4.91, apenas duas zonas do murete aguentaram os tubos por mais de 10 minutos. No entanto a análise da Figura 4.92 revela grandes heterogeneidades na absorção inicial aos 4 ml, uma vez que o painel Sul teve um tubo aplicado uma zona que se revelou quase estanque (demorou 800 segundos a absorver 4 ml) e como tal resultou num valor muito discrepante dos restantes. Como tal, por essas razões torna-se muito difícil fazer uma avaliação da capacidade de absorção do murete.

#### 4.3.1.2 Dureza superficial

A dureza superficial do murete de taipa foi obtida com o recurso a duas técnicas diferentes que serão descritas nos pontos 4.3.1.2.1 e 4.3.1.2.2.

##### 4.3.1.2.1 Esclerómetro pendular [graus Vickers]

O ensaio baseou-se na norma ASTM C805 (ASTM, 2008) e utilizou-se um esclerómetro de pêndulo Schmidt Hammer do tipo PM, o indicado no caso de ensaios em revestimentos e alvenarias. Este é um ensaio de avaliação da dureza superficial que, em comparação com o durómetro *Shore A*, avalia a dureza de camadas mais espessas e que possui uma escala numérica e funcionamento distintos.

O funcionamento do esclerómetro de pêndulo é baseado no método do ressalto, através da medição do deslocamento de retorno de uma massa conhecida lançada contra o suporte em estudo, e onde este retorno se deve à reacção elástica provocada pelo choque. Através da quantidade de energia recuperada pelo ressalto, obtém-se um índice de dureza. “Quanto mais brando for o material, maior a quantidade de energia que ele absorve e menor a altura do ressalto” (Malanho & Veiga, 2010).

O procedimento começou com a escolha dos pontos a ensaiar, considerando a heterogeneidade da parede em estudo. Colocou-se o esclerómetro Schmidt PM encostado ao reboco em cada um desses pontos, com o ponto de aplicação da massa alinhado com o aparelho (Figura 4.93).



Figura 4.93 - Esclerómetro pendular.

Libertou-se o pêndulo, através do botão de disparo, tendo em atenção que o equipamento esteve sempre bem encostado à superfície em estudo. Registaram-se as leituras dadas pelo esclerómetro em cada ponto. Este ensaio foi realizado em 10 zonas na totalidade do murete, um alinhamento vertical de 3 zonas na parte central e 2 zonas nas extremidades. A medição em cada zona foi efectuada dez vezes, por forma a obter valores médios, uma vez que este ensaio é muito sensível ao operador que o realiza e à localização exacta do ponto a ensaiar.

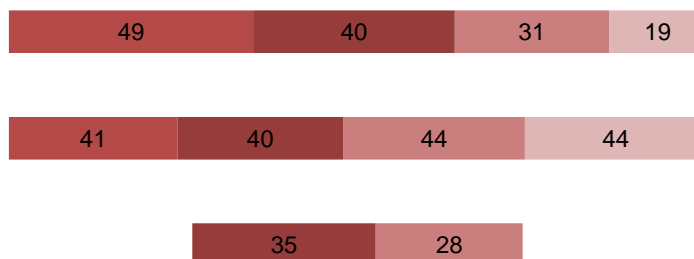


Figura 4.94 – Dureza superficial do murete com esclerómetro pendular [graus Vickers].

Pela Figura 4.94 pode-se concluir que as zonas do murete que apresentam maior dureza superficial são a zona intermédia (40-44) e a mais a norte (41 e 49). O facto da zona Sul e superior do murete estar muito destruída (Figura 4.95) e ter uma maior incidência da chuva contribuiu significativamente para a diminuição do valor da dureza superficial nessa zona. Pela mesma razão também se percebe porque o lado Norte apresenta melhores resultados, uma vez que a incidência da chuva é menor e como tal nessa zona o murete apresentou maior dureza superficial. Por fim, a zona inferior também apresenta durezas menores que o resto do murete, isto porque não beneficia da função protectora das telhas presentes no topo do murete. A média dos valores foi de 37,0 e o desvio padrão 8,8 [graus Vickers].



Figura 4.95 – Zona sul e superior do murete destruída.

#### 4.3.1.2.2 Durómetro [graus Shore A]

A dureza superficial do murete de taipa foi avaliada com um durómetro Shore e para tal seguiu-se o procedimento semelhante ao descrito no ponto 4.2.2.2, com a diferença que foram ensaiados 10 pontos em cada uma das 10 zonas seleccionadas do murete. Como tal a dureza superficial para cada zona foi obtida através da média dos 10 valores.

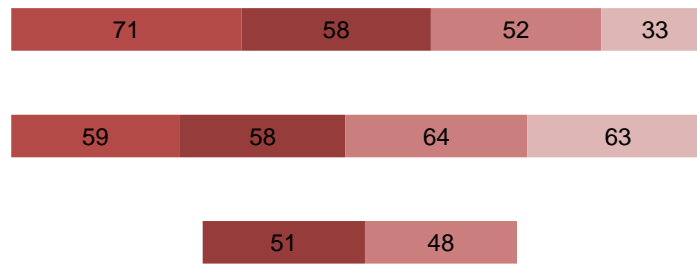


Figura 4.96 - Dureza superficial do murete com durómetro [graus Shore A].

A avaliação da dureza superficial com o durómetro apresenta resultados semelhantes aos obtidos com o esclerómetro, uma vez que se confirma que o canto superior direito do murete se encontra danificado e como tal exibe o resultado mais reduzido de todos. A zona central e o canto superior esquerdo continuam a ser as zonas que revelam maiores valores de dureza superficial, pelas mesmas razões já especificadas em 4.3.1.2.1. A média dos valores foi de 55,7 e o desvio padrão 7,5.

#### 4.3.1.3 Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica do murete foi medida num total de 10 pontos, à semelhança do ensaio com o esclerómetro pendular, num alinhamento vertical de 3 pontos na zona central e 2 pontos nas extremidades. Este ensaio baseou-se no manual do equipamento ISOMET 2104 (Heat Transfer Analyser) e utilizou-se uma sonda de profundidade, em contraste com os restantes ensaios do género, uma vez que a sonda utilizada habitualmente não funciona em suportes na posição vertical. No entanto, o manual do equipamento recomenda a selagem do sensor no furo efectuado, o que não foi realizado. Teve-se no entanto o cuidado de realizar os furos para inserção do sensor com o diâmetro mínimo possível. Os valores obtidos são expressos em  $W/(m.K)$ .

Inicialmente furaram-se os pontos, em zonas pré definidas, com um berbequim e uma broca com o diâmetro superior ao da sonda e uma profundidade igual ao comprimento da mesma (Figura 4.97a). De seguida colocou-se a sonda em cada ponto escolhido e registaram-se as leituras dadas pelo equipamento, tendo especial atenção se os valores não saiam fora do intervalo da sonda, neste caso 0,2 a 1  $W/m.K$  (Figura 4.97c). Tal nunca se verificou, mas caso acontecesse algum valor exceder a gama de valores, seria necessário repetir o ensaio com outra sonda mais adequada.



Figura 4.97 – Ensaio de condutibilidade térmica no murete de taipa. a) Furação dos pontos; b) Disposição do equipamento; c) Pormenor da sonda em funcionamento.

Uma vez que o murete de taipa é demasiado heterogéneo no que toca aos materiais utilizados, torna-se extremamente difícil perceber os diversos valores da condutibilidade térmica. Como tal este será considerado como um todo e o valor da condutibilidade térmica a ter em conta será a média dos valores obtidos e apresentados na Figura 4.98. Desta forma, o valor médio calculado para a condutibilidade térmica do murete é 0,673 W/m.K e o desvio padrão é 0,156 W/m.K.

0,743	0,406	0,616	0,589
0,866	0,654	0,712	0,789
0,474	0,877		

Figura 4.98 – Condutibilidade térmica do murete de taipa ( $\lambda$ ).

### 4.3.2. Ensaio aos rebocos no murete de taipa

Os ensaios ao reboco do murete de taipa foram realizadas em dias com condições de temperatura e humidade relativas muito semelhantes aos explicados no ponto 4.3.1. Como tal não se considerou necessária a medição desses parâmetros novamente.



Figura 4.99 – Esquema da distribuição de rebocos pelo murete de taipa.

#### 4.3.2.1 Dureza superficial por durómetro Shore A

A dureza superficial do reboco aplicado sobre o murete de taipa foi avaliada com um durómetro Shore A e para tal seguiu-se o procedimento semelhante ao descrito no ponto 4.3.1.2.2.

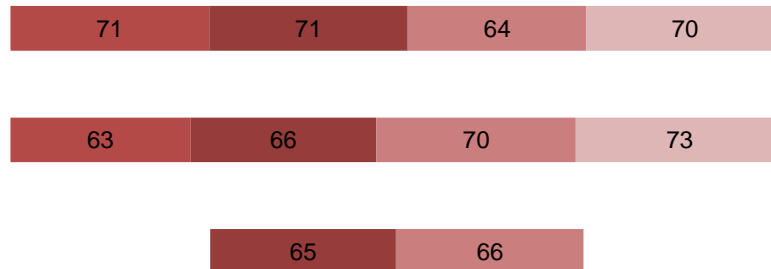


Figura 4.100 – Dureza Superficial (durómetro) - Reboco – 28 dias.

Pela análise da Figura 4.100 percebe-se que a dureza superficial nas diferentes zonas dos rebocos é muito semelhante entre si; no entanto a CL2\_25t(L)\_0,5FAIã é a argamassa que apresenta uma dureza mais elevada, ainda que por uma margem pequena, como se pode comprovar pela Tabela 4.6 onde é possível verificar as médias e os respectivos desvios padrão.

Tabela 4.6 – Resultados da dureza superficial [graus Shore A].

Argamassas	Média	Desv.Pad
CL3_10t(ArF)_0,5FAIã	67	5,2
CL3_10t(ArF)_0,5FV	67	3,1
CL2_25t(L)_0,5FV	66	3,4
CL2_25t(L)_0,5FAIã	71,6	2,1

#### 4.3.2.2 Dureza superficial por esclerómetro pendular

À semelhança do que se efectuou na caracterização do murete de taipa, também sobre o reboco aplicado se avaliou a dureza superficial por esclerómetro pendular, seguindo o mesmo procedimento descrito no ponto 4.3.1.2.1.

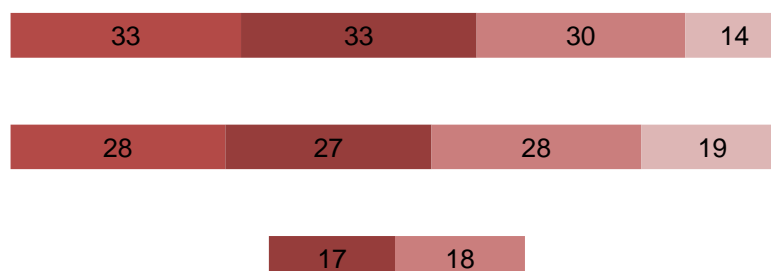


Figura 4.101 - Dureza Superficial (esclerómetro pendular) - Reboco – 28 dias.

Pela interpretação do gráfico da Figura 4.101 depreende-se que pelo ensaio com o esclerómetro pendular as existem zonas com dureza superficial muito baixa. No entanto, como já foi dito anteriormente, o canto superior direito do murete encontrava-se muito danificado e como este ensaio avalia camadas muito mais espessas, as condições deficientes do suporte influenciam muito os resultados do ensaio. Esta situação ajuda a explicar o facto de os resultados seguirem as mesmas tendências evidenciadas no ensaio efectuado na caracterização do murete de taipa (Figura 4.94). Para além disso, todos os valores são mais baixos se comparados com os obtidos na caracterização do murete, o que se pode justificar pelo facto de o reboco não estar devidamente aderente ao suporte e desta forma comprovando as dificuldades de aderência durante a aplicação evidenciadas no ponto 3.3.4.

Tabela 4.7 - Resultados da dureza superficial [graus Vickers]

Argamassas	Média	Desv.Pad
CL3_10t(ArF)_0,5FAIã	30,5	3,0
CL3_10t(ArF)_0,5FV	25,9	8,2
CL2_25t(L)_0,5FV	24,9	6,4
CL2_25t(L)_0,5FAIã	16,4	3,5

#### 4.3.2.3 Absorção de água sob baixa pressão (tubos de Karsten)

Como se tem verificado nos restantes ensaios ao reboco, também este foi realizado com base no mesmo procedimento seguido na caracterização do murete de taipa antes de ser revestido com os painéis de reboco e que foi descrito no ponto 4.3.1.1. Na Figura 4.102 encontram-se algumas imagens da realização do ensaio de absorção de água com tubos de Karsten sobre o reboco de argamassa do murete de taipa.



Figura 4.102 – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão no reboco de argamassa do murete de taipa aos 28 dias. a) Nível superior; b) Pormenor; c) Nível inferior.

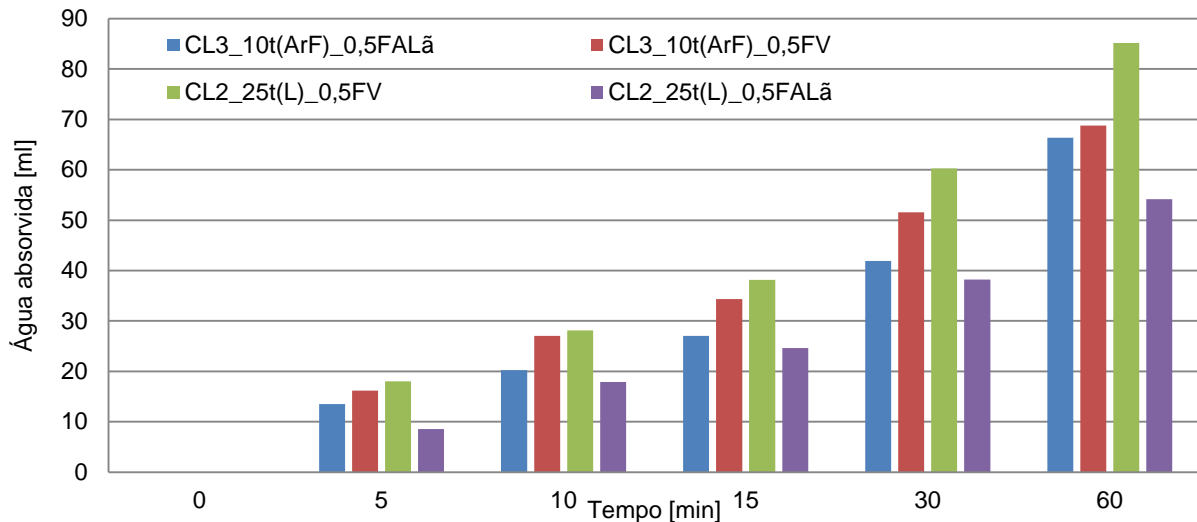


Figura 4.103 - Quantidade de água absorvida [ml] – Rebocos – 28 dias.

Pela análise da Figura 4.103 pode-se concluir que, das argamassas aplicadas no murete, as que possuem fibras vegetais absorvem maior quantidade de água, com mais destaque para a CL2\_25t(L)\_0,5FV. No entanto esse facto também se pode justificar pelo facto da zona central do murete, como se pode ver na Figura 4.91, absorver mais água que o restante.

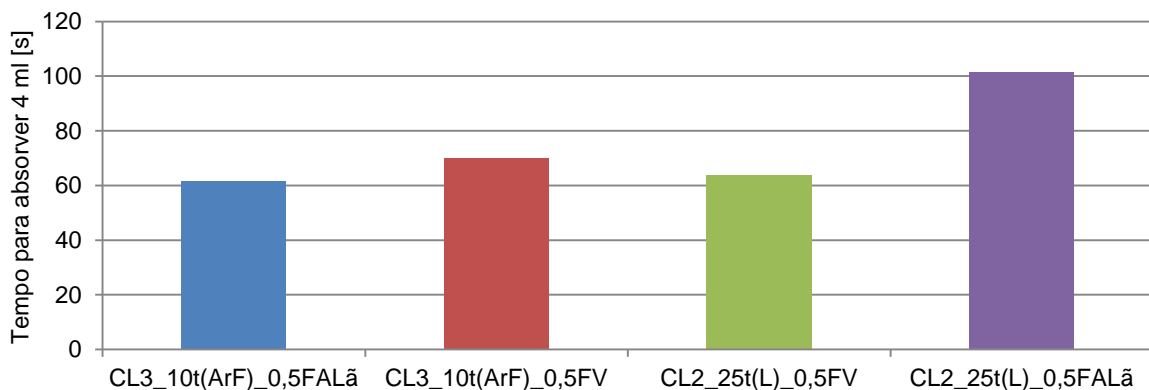


Figura 4.104 - Tempo para absorver 4 ml [s] – Rebocos – 28 dias.

Relativamente à absorção dos 4 mililitros iniciais, esta demora cerca de 1 minuto a acontecer, com excepção para a argamassas aplicada mais a sul (CL2\_25 (L)\_0,5FALã) que também já tinha revelado ser o reboco que menos quantidade de água absorve ao fim de 60 minutos. Tal e qual como na caracterização do murete, a zona mais a sul foi a que demorou mais tempo a absorver os 4 mililitros iniciais.





## **5. Discussão de resultados**

### **5.1. Resumo dos resultados da caracterização das argamassas**

Neste capítulo vai efectuar-se um cruzamento dos resultados dos ensaios, procurando assim justificar características e comportamentos obtidos pelas argamassas. Na Tabela 5.1, Tabela 5.2 e Tabela 5.3 pode ver-se uma síntese dos resultados globais médios dos ensaios efectuados às argamassas no estado fresco e aos prismas de argamassa, aos provetes de argamassa em suporte de tijolo e aos rebocos de argamassa sobre o murete, em estado endurecido.

### **5.2. Comparação dos resultados obtidos no estado fresco**

O ensaio de consistência por espalhamento foi realizado de forma idêntica a outros trabalhos anteriores, nomeadamente Grilo (2013), Dias (2013) e Jamú (2013). Contudo, devido aos constituintes em causa (cal aérea, mistura de areias, terra argilosa e quantidade de água) os valores deste estudo apenas são comparáveis com os dois últimos. Em Dias (2013) e Jamú (2013) as quantidades de água e terra utilizadas nas argamassas de padrão e de referência foram idênticas, pelo que a relação água/terra é também igual, sendo o espalhamento o único parâmetro que pode diferir. Segundo Dias (2013), CL3 tem um espalhamento de 152 mm e CL3\_10t(ArF) tem 149 mm, enquanto em Jamú (2013) CL2 e CL2\_25t(L) têm ambos cerca de 147 mm. Pela observação da Figura 5.1 e Figura 5.2 pode concluir-se que, neste estudo, as mesmas argamassas obtiveram valores de espalhamento ligeiramente inferiores, apesar do ensaio ter sido executado pelo mesmo operador.

Como já foi referido em 4.1.2 os valores de retenção de água das argamassas em estudo são elevados e como tal apresentam boas condições para serem aplicados em condições atmosféricas adversas (tempo quente e vento seco) e em suportes muito absorventes (Faria 2004). Os valores obtidos para as argamassas de referência são semelhantes aos obtidos em Jamú (2013), com CL2 e CL2\_25t(L) entre 90-92%, e em Dias (2013), com CL3 e CL3\_10t(ArF) entre 85-90%. Na Figura 5.1 e Figura 5.2 é feita uma comparação entre os resultados obtidos para o ensaio de consistência por espalhamento e retenção de água.

Tabela 5.1 – Resumo dos resultados em estado fresco e em estado endurecido aos 28 dias.

		Argamassas																
		CL2	CL2_25 t(L)	CL2_25 t(L) _0,5FV	CL2_25t (L) _FV	CL2_25t (L)_0,5 FA <sub>crina</sub>	CL2_25t (L) _FA <sub>crina</sub>	CL2_25t (L) _0,5FA <sub>lã</sub>	CL2_25t (L) _FA <sub>lã</sub>	CL3	CL3_10 t(ArF)	CL3_10t (ArF) _0,5FV	CL3_10t (ArF) _FV	CL3_10t (ArF) _0,5FA <sub>crina</sub>	CL3_10t (ArF) _FA <sub>crina</sub>	CL3_10t (ArF) _0,5FA <sub>lã</sub>	CL3_10t (ArF) _FA <sub>lã</sub>	
Estado fresco	Espalhamento [mm]	140,3	136,5	142,5	146,3	144,3	147,3	154,8	159,3	150,3	141,5	143,0	145,3	153,3	147,5	154,0	158,8	
	Teor em ar	4,2	4,0	4,8	5,0	-	-	4,2	4,0	4,3	4,0	4,9	4,8	-	-	4,0	3,2	
	Retenção de água [%]	91,1	91,6	90,3	93,3	89,9	91,5	87,7	83,4	86,5	90,1	87,4	85,1	89,4	88,6	83,8	83,0	
	Massa volú- mica [kg/m³]	1948,0	1931,7	1893,6	1850,9	-	-	1885,8	1853,3	1923,9	1948,3	1882,7	1822,7	-	-	1858,8	1844,8	
Provetes em estado endurecido (28 dias)	Prismas	Ultra-sons [m/s]	1139,1	1175,7	890,8	869,8	933,5	940,2	1200,9	1146,8	1121,7	1162,6	895,2	857,3	1202,4	1208,8	1153,8	1157,9
		Massa volú- mica [kg/m³]	1666,3	1657,0	1601,4	1562,4	1623,8	1635,0	1643,1	1585,7	1668,8	1653,4	1602,8	1539,4	1508,5	1627,1	1634,5	1579,4
		Ed [MPa]	1971,3	2288,2	1669,6	1465,6	2186,6	2243,0	2236,1	1923,4	2504,6	2095,6	1784,7	1439,8	2071,1	2096,3	2020,3	1923,3
		λ [W/m.K]	0,708	0,649	0,574	0,539	0,631	0,625	0,659	0,558	0,736	0,698	0,606	0,550	0,600	0,645	0,630	0,560
	Suporte de tijolo	Durómetro [Shore A]	62,0	71,6	66,4	63,9	69,7	52,6	72,9	70,7	71,6	62,4	54,2	59,4	71,9	66,2	71,0	76,7
		λ [W/m.K]	0,438	0,612	0,313	0,315	0,405	0,310	0,513	0,522	0,475	0,441	0,387	0,338	0,399	0,292	0,567	0,539
		Ultra-sons [m/s]	934,0	1028,6	1122,3	1044,2	1005,2	1042,5	1290,7	1215,3	1057,2	1036,4	1148,2	1053,5	1178,5	1061,9	1251,5	1249,5
		Coef. Absor- ção – tK [kg/m².min <sup>0,5</sup> ]	18,99	22,76	21,71	24,75	25,93	30,89	24,49	25,14	21,40	26,22	32,99	23,45	36,41	41,77	23,60	33,24
		Água absorvi- da – tK [ml]	70,67	84,70	80,80	92,10	96,50	114,93	91,13	93,57	79,65	97,55	122,75	87,25	135,50	155,43	87,83	123,70
		Reboco em Murete de Taipa (28 dias)	Durómetro [Shore A]	-	-	66,0	-	-	-	71,6	-	-	-	67,0	-	-	-	67,0
Esclerómetro [graus Vickers]	-		-	24,9	-	-	-	16,4	-	-	-	25,9	-	-	-	30,5	-	
Coef. Absor- ção - tK [kg/m².min <sup>0,5</sup> ]	-		-	22,90	-	-	-	14,57	-	-	-	18,49	-	-	-	17,84	-	
Água absorvi- da- tK [ml]	-		-	85,20	-	-	-	54,20	-	-	-	68,80	-	-	-	66,40	-	

Tabela 5.2 - Resumo dos resultados dos provetes de argamassa em estado endurecido aos 90 dias.

			Argamassas															
			CL2	CL2_25 t(L)	CL2_25t (L)_ 0,5FV	CL2_25t (L)_FV	CL2_25t (L)_0,5 FA <sub>crina</sub>	CL2_25t (L)_ FA <sub>crina</sub>	CL2_25t (L)_ 0,5FA <sub>lã</sub>	CL2_25t (L)_FA <sub>lã</sub>	CL3	CL3_10 t(ArF)	CL3_10t (ArF)_ 0,5FV	CL3_10t (ArF)_ _FV	CL3_10t (ArF)_ 0,5FA <sub>crina</sub>	CL3_10t (ArF)_ FA <sub>crina</sub>	CL3_10t (ArF)_ 0,5FA <sub>lã</sub>	CL3_10t (ArF)_ _FA <sub>lã</sub>
Provetes em estado endurecido (90 dias)	Prismas	Porosidade aberta [%]	32,99	32,50	34,39	36,93	32,70	36,40	30,95	31,63	29,23	29,70	35,27	37,23	35,87	36,32	28,74	31,30
		Ultra-sons [m/s]	1218,6	1201,5	1162,8	1106,6	1263,6	1267,9	985,2	953,6	1253,6	1175,2	1167,4	1100,4	1203,8	1216,5	944,0	950,7
		λ [W/m.K]	0,691	0,684	0,585	0,545	0,649	0,673	0,691	0,626	0,746	0,639	0,604	0,512	0,649	0,598	0,642	0,581
		Massa volúmica [kg/m³]	1525,9	1548,2	1436,8	1256,2	1444,2	1424,6	1579,2	1487,8	1584,7	1515,3	1413,6	1328,6	1486,4	1435,3	1593,2	1531,1
		Ed [MPa]	2452,7	2435,5	1933,0	1624,4	2293,6	2329,9	2276,8	2012,5	2655,5	2251,1	1900,1	1545,0	2244,8	2221,1	2118,4	1965,1
		Rc [MPa]	0,58	0,53	0,44	0,43	0,51	0,59	0,60	0,57	0,52	0,47	0,45	0,38	0,48	0,47	0,51	0,48
		Rt [MPa]	0,27	0,25	0,20	0,16	0,22	0,25	0,25	0,22	0,28	0,24	0,17	0,16	0,24	0,22	0,20	0,21
		Coef. Capilaridade [kg/m²·min <sup>0,5</sup> ]	7,59	5,74	4,70	4,80	5,72	5,69	6,49	7,23	5,43	5,93	4,82	5,31	6,66	6,19	6,44	7,12
		Valor assimp-tótico [kg/m²]	21,29	20,67	22,68	22,32	21,79	21,06	21,70	22,26	18,58	20,14	22,33	23,61	21,75	22,46	21,09	23,18
		Taxa de Secagem [kg/(m²·h)]	0,20	0,20	0,24	0,27	0,27	0,27	0,32	0,40	0,30	0,29	0,33	0,33	0,20	0,27	0,32	0,38
		Índice de secagem [-]	0,12	0,13	0,12	0,13	0,11	0,11	0,09	0,09	0,08	0,10	0,14	0,11	0,09	0,12	0,09	0,09
	Δm 25c [%]	28,03	37,25	31,80	23,10	100,00	100,00	44,83	40,14	36,29	39,19	36,22	28,84	100,00	100,00	37,71	43,72	
	Suporte de tijolo	Durómetro [Shore A]	71,7	77,9	70,2	71,5	74,9	65,8	73,0	75,6	77,0	69,1	70,3	74,1	76,0	70,8	79,7	78,0
		λ [W/m.K]	0,471	0,599	0,410	0,404	0,474	0,391	0,557	0,596	0,490	0,517	0,422	0,407	0,479	0,415	0,595	0,559
		Ultra-sons [m/s]	1105,9	1399,4	1186,3	1256,7	1065,1	1042,5	1340,2	1335,4	1290,5	1225,6	1184,4	1006,4	1325,3	1078,5	1528,8	1275,3
		Coef. Absorção - tK [kg/m²·min <sup>0,5</sup> ]	25,09	30,73	26,65	40,54	27,18	41,97	27,42	28,06	35,30	44,26	39,93	52,69	46,29	48,32	32,94	38,52
		Água absorvida – tK [ml]	93,37	114,35	99,15	150,85	101,13	156,17	102,03	104,40	131,35	116,45	148,60	138,63	121,80	127,13	122,57	143,33

Tabela 5.3 - Resumo dos resultados dos provetes de argamassa em estado endurecido aos 180 dias.

			Argamassas															
			CL2	CL2_25 t(L)	CL2_25 t(L)_ 0,5FV	CL2_25 t(L)_FV	CL2_25 t(L)_ 0,5FA <sub>crina</sub>	CL2_25 t(L)_ FA <sub>crina</sub>	CL2_25 t(L)_ 0,5FA <sub>lã</sub>	CL2_25 t(L)_ FA <sub>lã</sub>	CL3	CL3_10 t(ArF)	CL3_10 t(ArF)_ 0,5FV	CL3_10t (ArF)_FV	CL3_10 t(ArF)_ 0,5FA <sub>crina</sub>	CL3_10 t(ArF)_ FA <sub>crina</sub>	CL3_10 t(ArF)_ 0,5FA <sub>lã</sub>	CL3_10 t(ArF)_ FA <sub>lã</sub>
Provetes em estado endurecido (180 dias)	Prismas	Porosidade aberta [%]	24,22	24,69	26,34	26,34	25,17	24,99	22,46	24,20	22,01	22,68	24,42	26,81	24,65	24,36	25,70	27,17
		Ultra-sons [m/s]	1207,8	1213,2	1110,9	1091,2	1229,4	1212,6	1190,9	1141,7	1280,7	1205,1	1128,2	1055,0	1116,5	1191,0	1125,0	1102,4
		λ [W/m.K]	0,811	0,837	0,684	0,640	0,708	0,668	0,691	0,720	0,865	0,839	0,628	0,610	0,702	0,731	0,686	0,600
		Massa volúmica [kg/m³]	1776,3	1738,8	1811,9	1651,8	1704,3	1714,5	1725,3	1745,6	1774,2	1771,7	1707,8	1614,0	1724,0	1723,9	1691,1	1641,4
		Ed [MPa]	2382,9	2370,2	1862,6	1703,0	2249,2	2236,2	2036,5	1938,3	26736,0	2358,3	1856,4	1545,0	2117,1	2233,2	1950,0	1795,4
		Rc [MPa]	0,60	0,54	0,44	0,44	0,51	0,53	0,53	0,48	0,57	0,51	0,45	0,39	0,44	0,52	0,45	0,44
		Rt [MPa]	0,26	0,26	0,18	0,16	0,24	0,22	0,23	0,19	0,27	0,23	0,20	0,13	0,20	0,22	0,17	0,19
		Coef. Capilaridade [kg/m².min <sup>0,5</sup> ]	5,22	4,25	4,56	4,56	5,41	4,79	4,50	5,11	3,87	4,14	4,51	4,60	4,70	5,29	4,99	5,31
		Valor assimpótíco [kg/m²]	19,45	18,00	20,12	21,85	20,89	20,53	20,89	21,18	18,03	18,82	21,19	22,63	20,10	21,26	20,50	21,95
		Taxa de Secagem [kg/(m².h)	0,16	0,15	0,18	0,19	0,12	0,20	0,20	0,21	0,18	0,17	0,16	0,14	0,20	0,18	0,19	0,22
		Índice de seca-gem [-]	0,12	0,13	0,12	0,13	0,11	0,11	0,09	0,09	0,08	0,10	0,14	0,11	0,09	0,12	0,09	0,09
		Δm 25c [%]	67,30	66,17	64,19	49,63	100,00	100,00	61,57	62,94	63,99	69,44	58,68	50,53	100,00	100,00	71,31	60,51
	Suporte de tijolo	Durómetro [Shore A]	78,2	83,4	75,1	76,5	77,9	71,7	75,2	80,9	83,9	73,9	78,7	80,8	79,0	77,2	82,1	83,5
		λ [W/m.K]	0,529	0,660	0,420	0,412	0,517	0,409	0,560	0,645	0,493	0,522	0,433	0,397	0,496	0,387	0,622	0,615
		Ultra-sons [m/s]	1207,1	1358,5	1404,6	1412,7	1106,7	1157,4	1499,1	1515,6	1311,1	1225,6	1398,6	1198,9	1474,2	1284,7	1468,2	1428,3
		Coef. Absorção - tK [kg/m².min <sup>0,5</sup> ]	29,64	22,80	26,60	41,67	26,19	40,29	31,20	34,61	34,21	42,79	37,37	30,61	28,39	51,40	23,36	31,36
		Água absorvida - tK [ml]	110,30	84,85	99,00	109,65	97,45	149,93	116,10	128,80	127,30	112,60	98,33	113,90	112,13	135,25	86,93	116,70

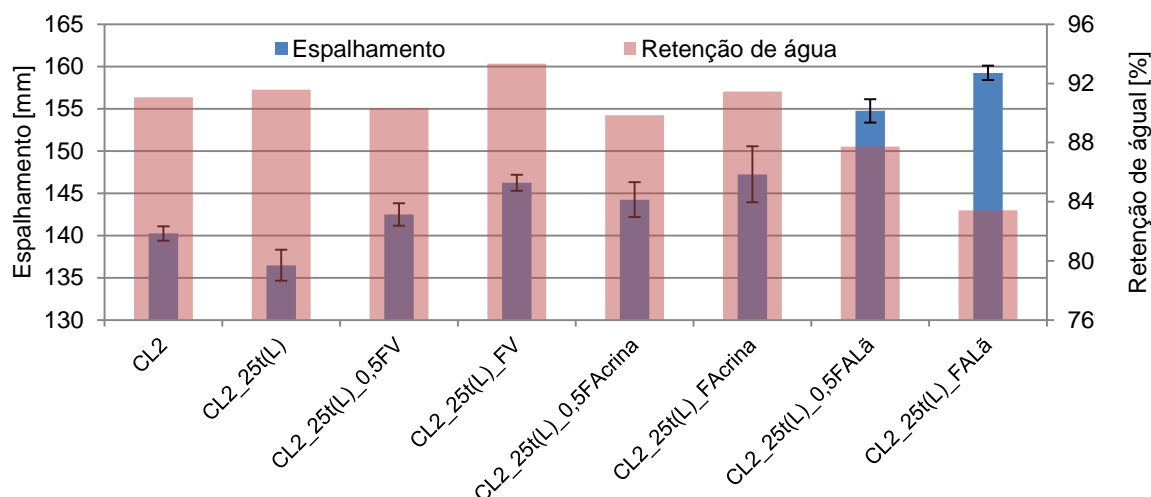


Figura 5.1 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a retenção de água – Traço 1:2.

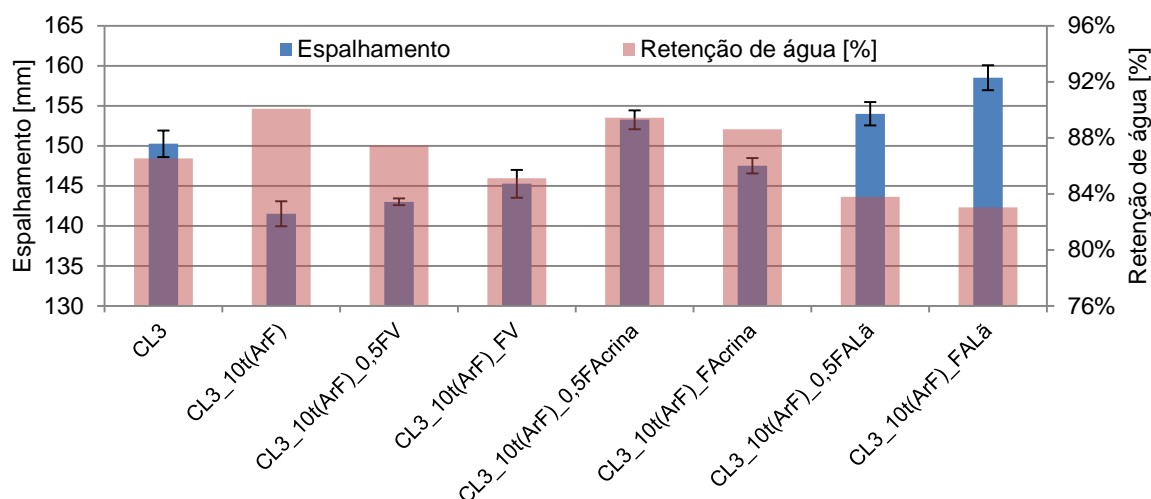


Figura 5.2 - Comparação entre a consistência por espalhamento e a retenção de água – Traço 1:3.

Pela análise da Figura 5.2 verifica-se que para as argamassas de traço 1:3 a retenção de água aumenta com a diminuição do espalhamento. No entanto, na Figura 5.1 esse facto já não é tão evidente, apenas se verificando para as argamassas com lã de ovelha. Esse tipo de fibra revelou-se como o único que mantém o pior comportamento, face à retenção de água, em ambos os traços. Uma análise mais abrangente permite concluir que a diferença de traços conduz a grandes diferenças de comportamento relativamente à retenção de água das argamassas, e como tal, difíceis de comparar com resultados de outros ensaios.

Como mencionado em 4.1.4, a determinação da massa volúmica e do teor de ar das argamassas com crina de cavalo não foi efectuada, como tal, na Figura 5.3 e Figura 5.4 apenas serão comparados resultados correspondentes às argamassas de referência, com fibras vegetais e com lã de ovelha.

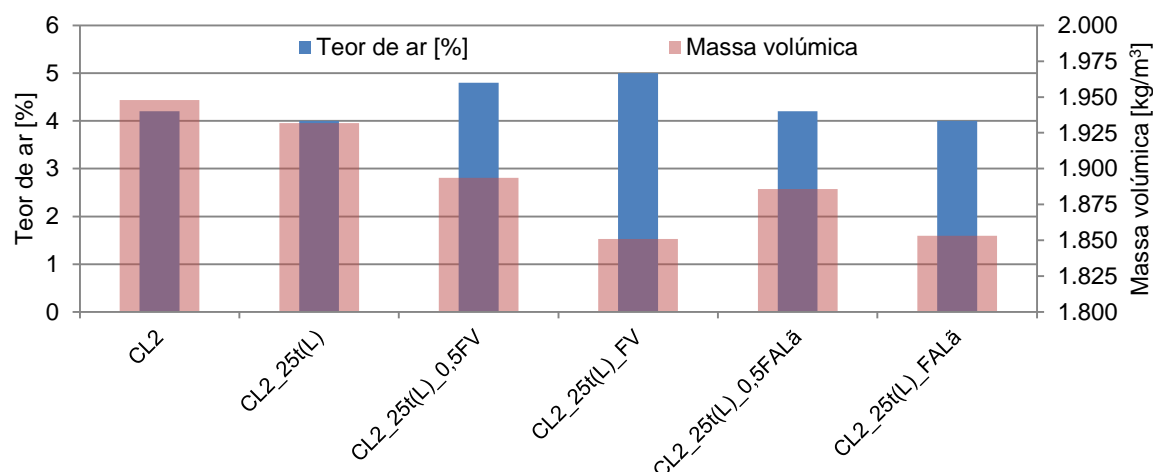


Figura 5.3 - Comparação entre o teor de ar e a massa volúmica em estado fresco – Traço 1:2.

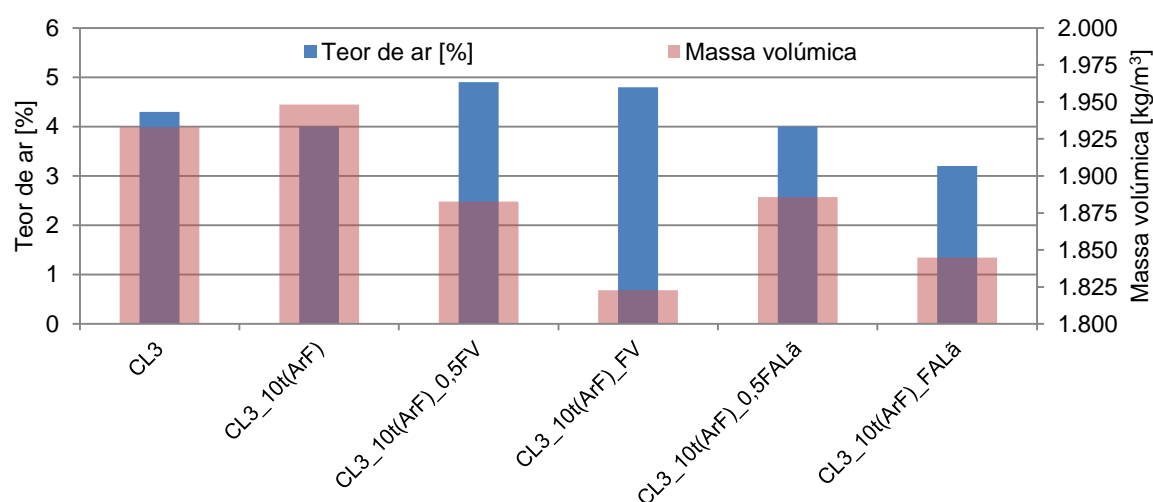


Figura 5.4 - Comparação entre o teor de ar e a massa volúmica em estado fresco – Traço 1:3.

Pela análise das figuras anteriores (Figura 5.3 e Figura 5.4) verifica-se que a introdução de casca de arroz e lã de ovelha diminui a massa volúmica das argamassas proporcionalmente à sua dosagem. Contudo a sua influência no teor de ar destas é bem diferente; isto porque, como é visível nos gráficos, a introdução de fibras vegetais promove um aumento do teor de ar das argamassas, enquanto a introdução de lã de ovelha mantém essa característica, excepto em CL3\_10t(ArF)\_FALã.

### 5.3. Comparação dos resultados no estado endurecido

#### 5.3.1. Condutibilidade térmica: Prismas *versus* tijolos

Como já foi referido anteriormente, os resultados que se apresentam de seguida não deverão ser tomados como valores absolutos mas apenas comparativos entre si, visto que a dimensão dos provetes prismáticos utilizados não é compatível com o tamanho da sonda do aparelho e os provetes em suporte tijolo apresentam uma superfície muito irregular. Na Figura 5.5 e na Figura 5.6 estão compa-

rados os valores de condutibilidade térmica obtidos nos provetes em suporte de tijolo e nos provetes prismáticos, ambos aos 180 dias de idade.

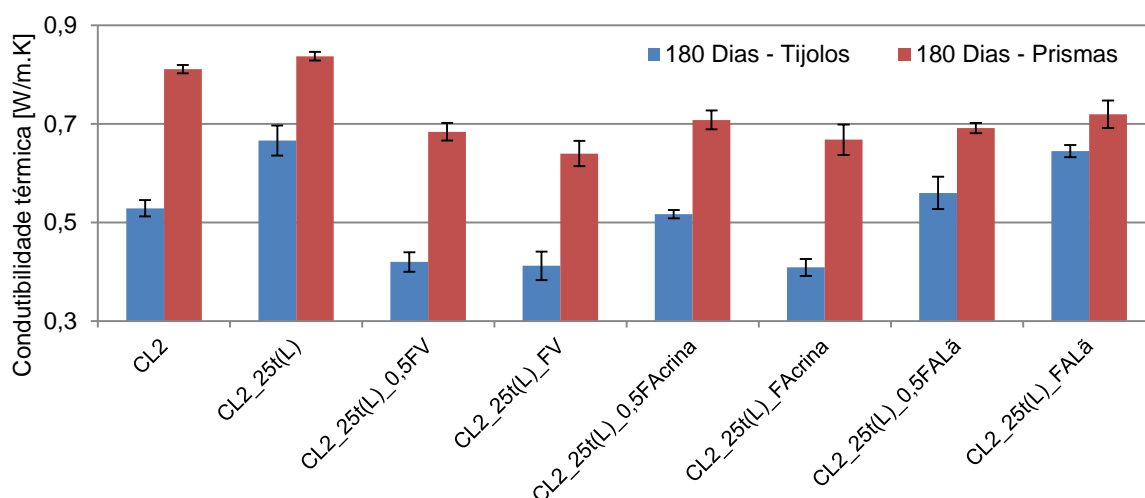


Figura 5.5 - Condutibilidade térmica de provetes prismáticos e provetes em suporte de tijolo aos 180 dias – Traço 1:2.

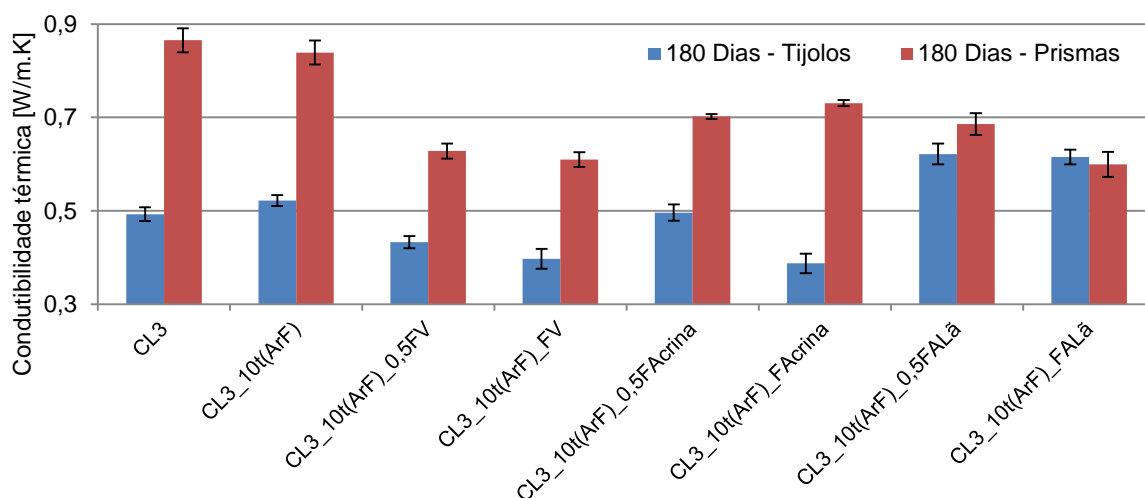


Figura 5.6 - Condutibilidade térmica de provetes prismáticos e provetes em suporte de tijolo aos 180 dias – Traço 1:3.

Apesar dos valores entre provetes serem um pouco diferentes entre si, a sua tendência é muito semelhante, como se percebe pelo andamento dos gráficos (Figura 5.5 e Figura 5.6). Quer isto dizer que para ambos os provetes a introdução de fibras se verificou benéfica para a redução da sua condutibilidade térmica e que, por exemplo, as argamassas com fibras vegetais são as que apresentam os resultados mais baixos. Contudo, o efeito da lã nas argamassas aplicadas em suporte tijolo foge um pouco à regra das restantes, produzindo um aumento da condutibilidade térmica.

Fazendo uma comparação com valores de referência do ITE 50, conclui-se que os valores da condutibilidade térmica das argamassas estudadas se encontra muito abaixo do valor de condutibilidade térmica padrão para argamassas e rebocos tradicionais, que é de  $1,3 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ . No entanto, esses valores aproximam-se mais do valor padrão para rebocos de cal aérea e areia ou de argamassa bastarda que é de  $0,8 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ , sobretudo nas argamassas de referência em provetes prismáticos (CL2, CL2\_25t(L), CL3 3 CL3\_10t(ArF)).

Pela comparação com os valores obtidos por Jamú (2013) e Dias (2013), traço 1:2 e 1:3 respectivamente e aos 90 dias de cura, verifica-se que estes apresentam tendências muito semelhantes uma vez que a terra também proporciona um ligeiro aumento da condutibilidade térmica no traço 1:2 e uma variação em sentido contrário no traço 1:3.

### 5.3.2. Velocidade de propagação de ultra-sons: Primas *versus* tijolos

Na Figura 5.7 e na Figura 5.8 comparam-se os valores da velocidade de propagação de ultra-sons obtidos nos provetes em suporte de tijolo e nos provetes prismáticos, ambos aos 180 dias de idade.

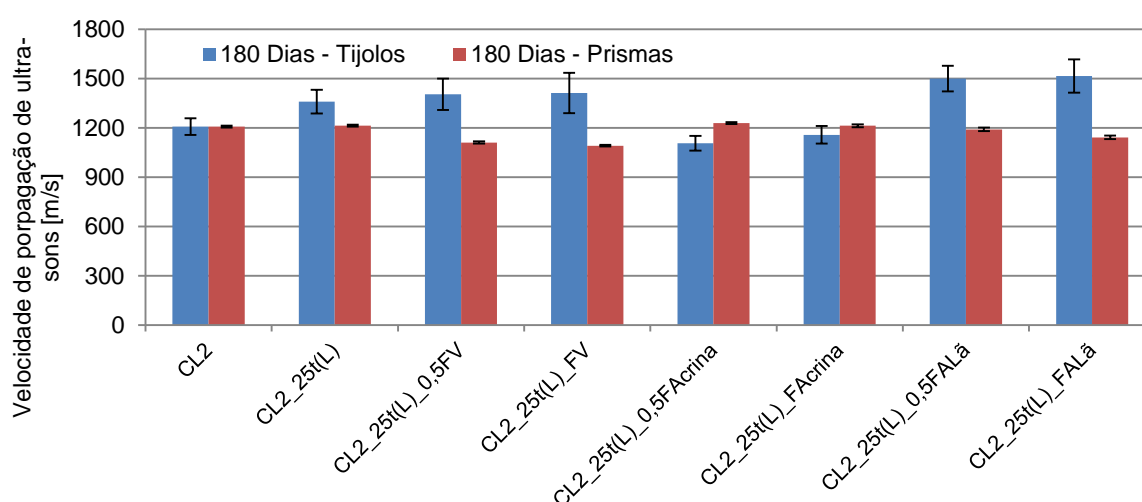


Figura 5.7 - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 180 dias – Traço 1:2.



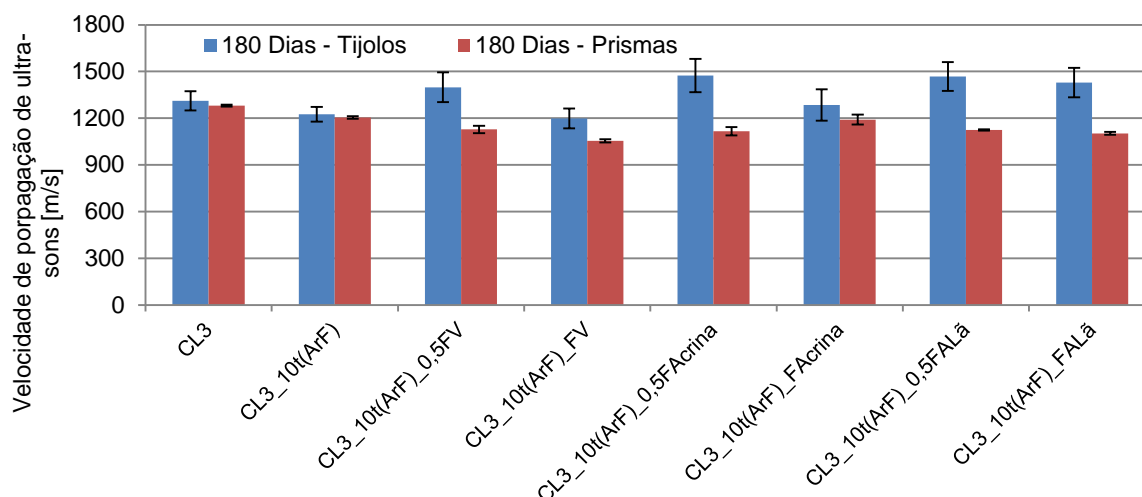


Figura 5.8 - Velocidade de propagação de ultra-sons de provetes em suporte de tijolo e prismáticos aos 180 dias – Traço 1:3.

Pela análise da Figura 5.7 e Figura 5.8 verifica-se que há uma tendência dos provetes de argamassa em suporte tijolo apresentarem valores de velocidade de propagação de ultra-sons superiores relativamente aos provetes prismáticos; contudo o seu desvio-padrão também é maior. Os resultados obtidos para os provetes prismáticos sugerem que as fibras diminuem a velocidade de propagação de ultra-sons, ao contrário dos valores dos provetes em tijolo em que a introdução de fibras aumenta essa velocidade. A alteração de comportamento provocado pela introdução de fibras não se consegue identificar com esta análise, uma vez que a mesma argamassa em provetes diferentes tem valores contrários relativamente à argamassa de referência (por ex. a velocidade dos ultra-sons da CL3\_10t(ArF)\_0,5FV aumentando nos provetes em tijolo e diminuindo nos prismáticos em relação a CL3\_10t(ArF)). Pode-se então concluir que relativamente a esta característica apenas se podem retirar conclusões entre provetes de argamassa do mesmo tipo.

### 5.3.3. Influência da compacidade na condutibilidade térmica

Na Figura 5.9 e Figura 5.10 é feita a comparação entre os resultados da condutibilidade térmica e da velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes prismáticos de argamassa aos 180 dias de cura.

Pela análise da Figura 5.9 e Figura 5.10 é possível concluir que, quanto maior for a compacidade da argamassa (maior velocidade de propagação de ultra-sons), maior é o valor da sua condutibilidade térmica. Mais uma vez é possível reiterar que a introdução de qualquer tipo de fibras em estudo diminui a compacidade e a condutibilidade térmica das argamassas desenvolvidas. Como já era esperado, algo que se verifica em todas as argamassas em estudo é o facto destas duas grandezas se revelarem directamente proporcionais.

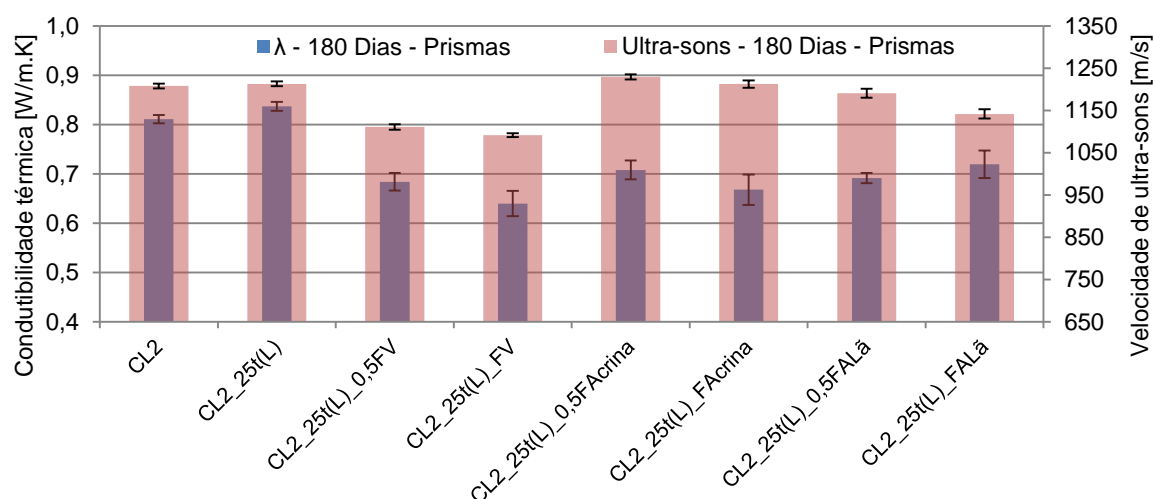


Figura 5.9 – Condutibilidade térmica *versus* velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes prismáticos aos 180 dias – Traço 1:2.

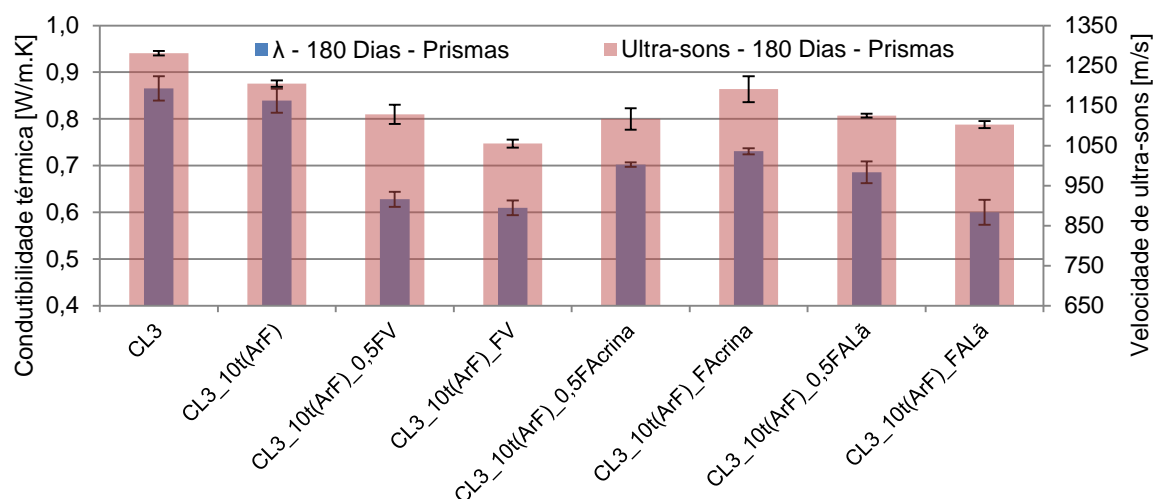


Figura 5.10 - Condutibilidade térmica *versus* velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes prismáticos aos 180 dias – Traço 1:3.

Contudo, a comparação entre os provetes de argamassa em suporte tijolo deve ser feita entre os resultados dos 90 dias para se perceber a proporcionalidade entre as duas características em estudo, uma vez que os grandes desvios padrão e o facto de alguns provetes (CL3\_10t(ArF) e CL3\_10t(ArF)\_0,5FV) terem perdido a aderência ao suporte antes de completarem os 180 dias de cura influenciaram os resultados, tornando-os inconclusivos. Como tal, na Figura 5.11 e Figura 5.12 apresenta-se a comparação entre a condutibilidade térmica e a velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes em suporte de tijolo aos 90 dias de idade.

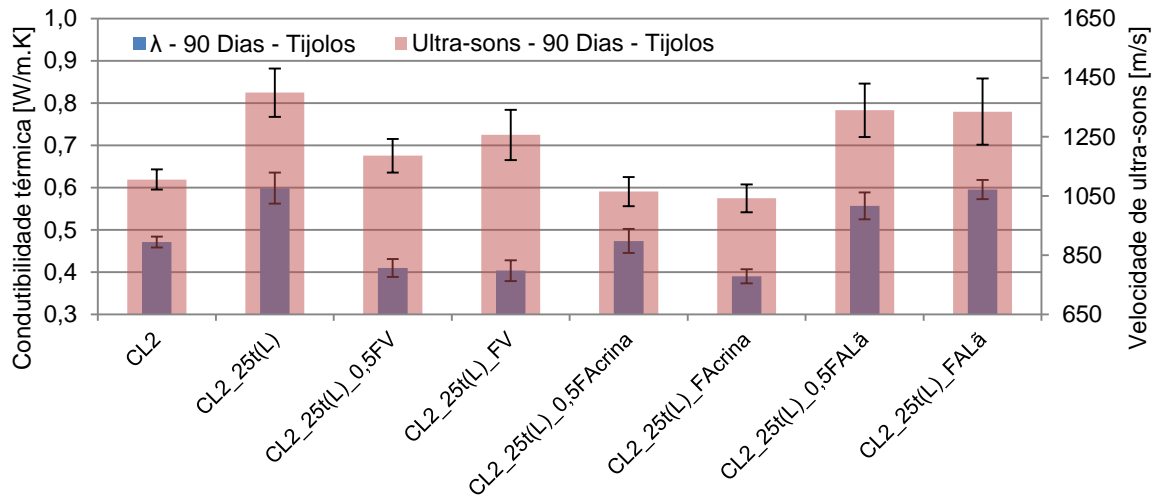


Figura 5.11 - Condutibilidade térmica *versus* velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes em suporte tijolo aos 90 dias – Traço 1:2.

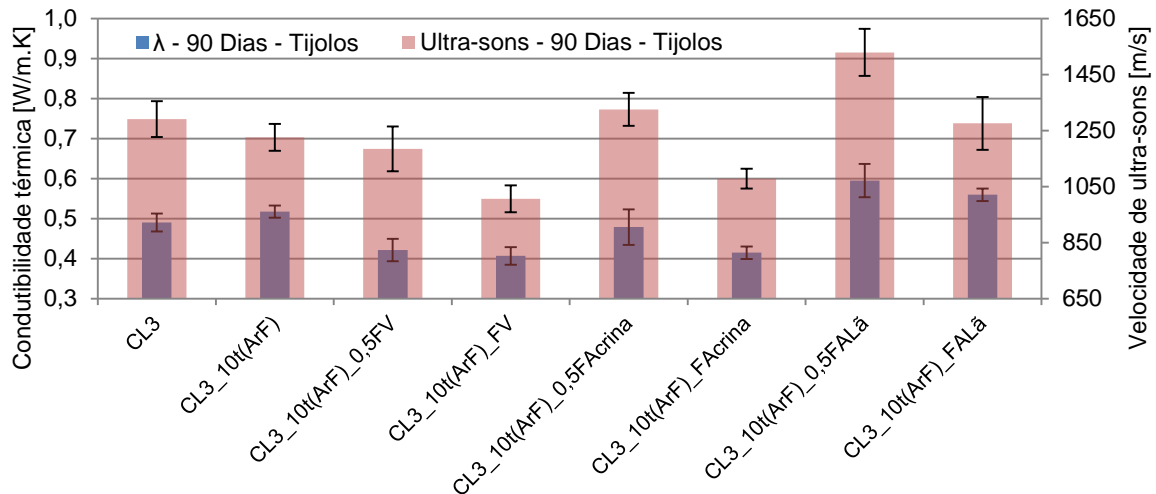


Figura 5.12 - Condutibilidade térmica *versus* velocidade de propagação de ultra-sons dos provetes em suporte tijolo aos 90 dias – Traço 1:3.

Pela análise da Figura 5.11 e Figura 5.12, para além da proporcionalidade entre as características anteriormente mencionada, é possível perceber que a introdução de fibras nos provetes em suporte tijolo diminuiu, tanto a condutibilidade térmica como a compacidade das argamassas, excepto para a CL3\_10t(ArF)\_0,5FALã.

Outra forma de avaliar a compacidade das argamassas é através da sua porosidade aberta, que como já se verificou em 4.2.1.8 é inversamente proporcional à sua massa volúmica. Desta forma, a porosidade aberta é inversamente proporcional à condutibilidade térmica da grande maioria das argamassas em estudo, como se pode verificar através da Figura 5.13 e Figura 5.14.

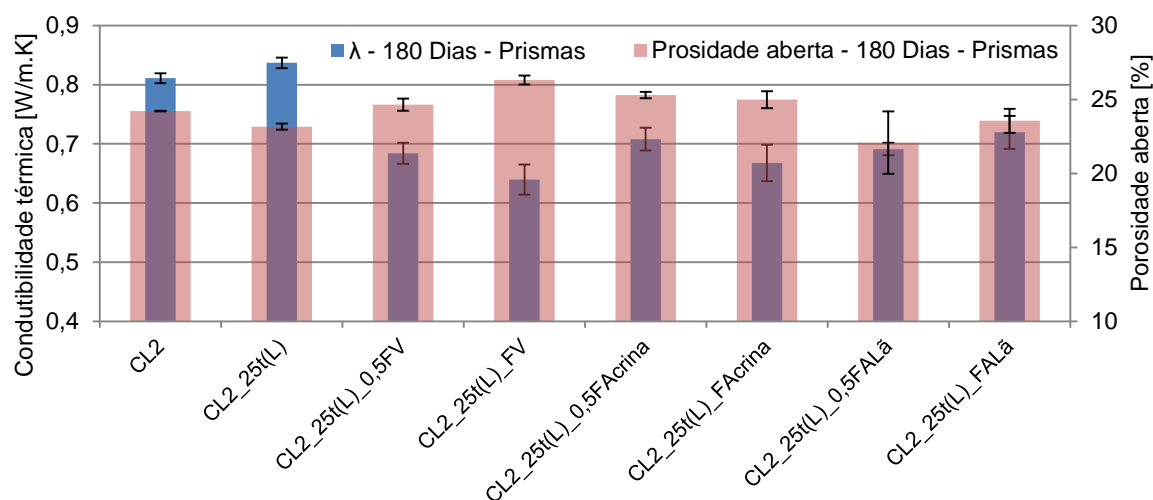


Figura 5.13 - Condutibilidade térmica *versus* porosidade aberta em provetes prismáticos aos 180 dias – Traço 1:2.

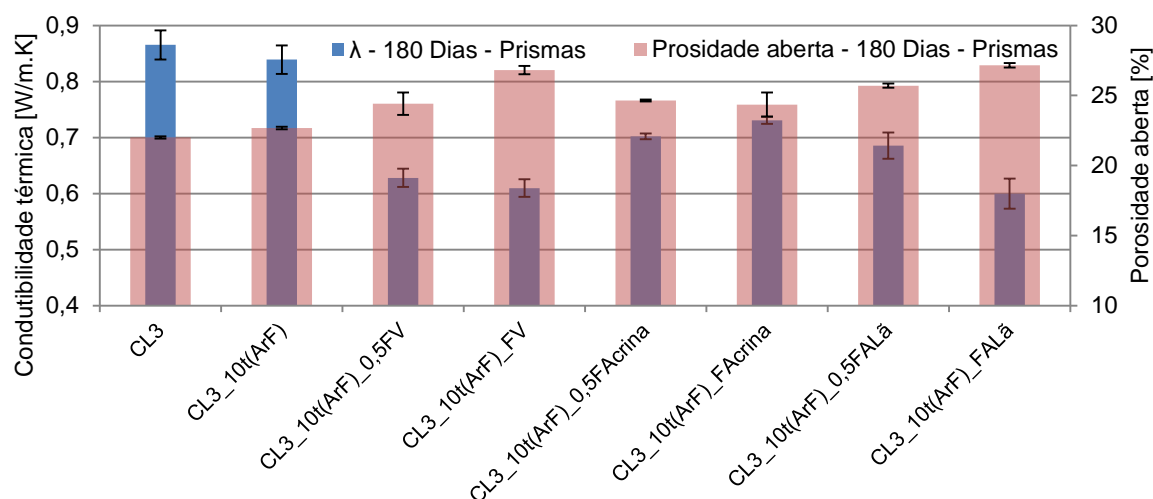


Figura 5.14 - Condutibilidade térmica *versus* porosidade aberta em provetes prismáticos aos 180 dias – Traço 1:2.

Estes resultados eram os mais previsíveis, visto que, segundo Henriques (2008), um material é tanto mais isolante térmico (menor condutibilidade térmica) quanto maior for a sua porosidade, ou seja quanto mais elevada for a quantidade de ar no interior da sua microestrutura.

#### 5.3.4. Comportamento face à acção da água: Provetes prismáticos

Como já se referiu em 4.2.1.7, devido a uma falha técnica do aparelho que regula as condições do ambiente da sala de cura, não foi possível garantir as mesmas condições de secagem (temperatura e humidade relativa) dos provetes dos 180 dias. Como tal apenas serão comparados os resultados dos ensaios que avaliam a acção da água em provetes prismáticos aos 90 dias de idade. Por forma a facilitar a compreensão das comparações de resultados que se seguem, acha-se que é de extrema importância recordar alguns conceitos que serão confrontados de seguida. Nomeadamente, o coefici-

ente de capilaridade (CC) que traduz a rapidez de absorção inicial de água, o valor assintótico (VA) que indica a quantidade máxima de água que penetra na argamassa por unidade de superfície (diretamente proporcional à quantidade de poros capilares existentes), a taxa de secagem (TS) que indica a velocidade inicial de secagem e o índice de secagem (IS), que quantifica a dificuldade de secagem total.

Na Figura 5.15 e Figura 5.16 é feito o confronto entre o coeficiente de capilaridade e a taxa de secagem dos provetes prismáticos de argamassa aos 90 dias de cura.

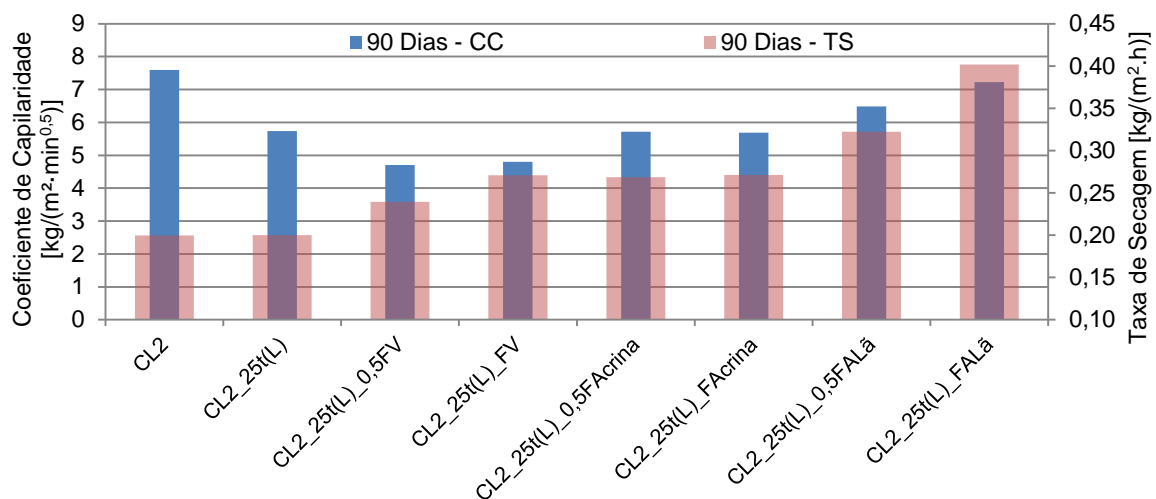


Figura 5.15 – Comparação entre o coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 90 dias – Traço 1:2.

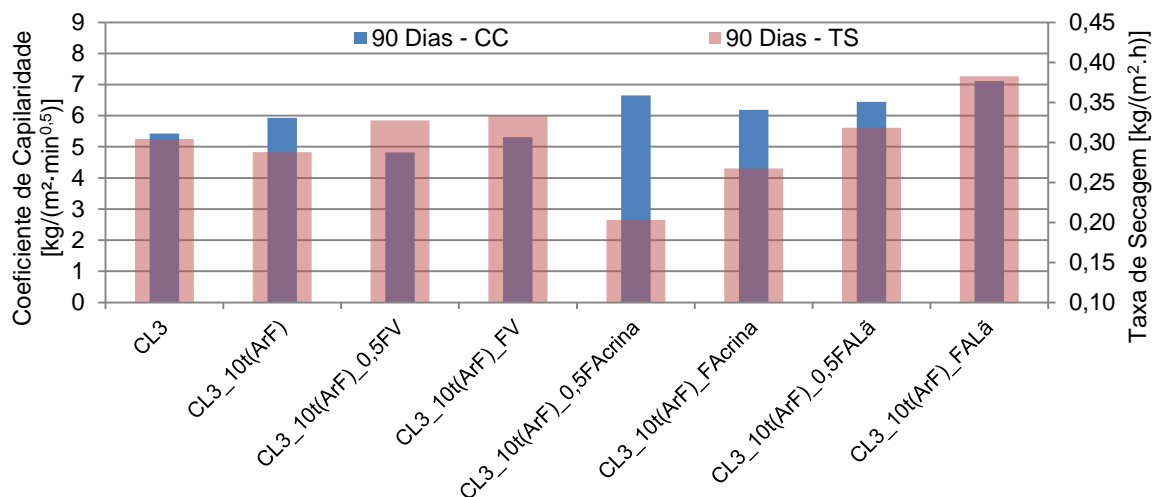


Figura 5.16 - Comparação entre o coeficiente de capilaridade e taxa de secagem aos 90 dias – Traço 1:3.

Pela análise da Figura 5.15 e Figura 5.16 é perceptível que diferentes tipos de fibras produzem diferentes tipos de comportamento nas argamassas face às características em questão. A introdução de fibras vegetais proporciona uma diminuição do coeficiente de capilaridade, mas aumenta a sua taxa

de secagem, ou seja, a incorporação de casca de arroz faz com que as argamassas absorvam água mais lentamente e que sequem mais rapidamente, que é o ideal. Por outro lado, a introdução de lã de ovelha confere um aumento de ambas as características, isto é, permite as argamassas absorverem e secarem mais rapidamente. A introdução de crina de cavalo foi inconclusiva, uma vez que muda o seu comportamento de absorção de água e secagem inicial consoante o traço.

Na Figura 5.17, Figura 5.18, Figura 5.19 e Figura 5.20 é avaliada a influência da porosidade aberta na absorção de água e secagem inicial, pela comparação com os parâmetros CC e TS, coeficiente de capilaridade e taxa de secagem respectivamente. O ensaio da porosidade aberta não consegue identificar o tamanho dos poros; no entanto quantifica o número de poros, que como se verá de seguida, influenciam a capacidade de absorção e secagem de uma argamassa.

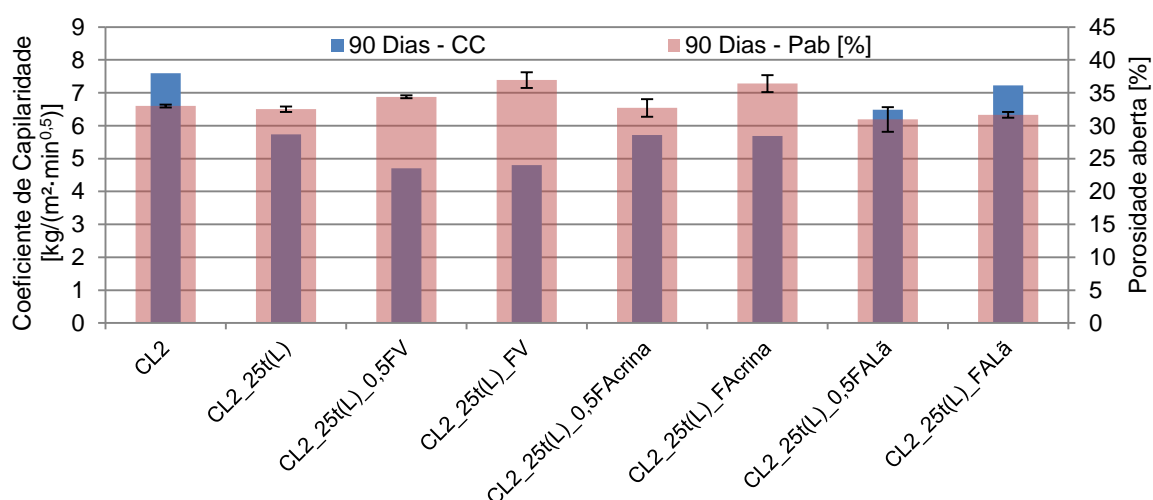


Figura 5.17 - Comparação entre o coeficiente de capilaridade e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:2.

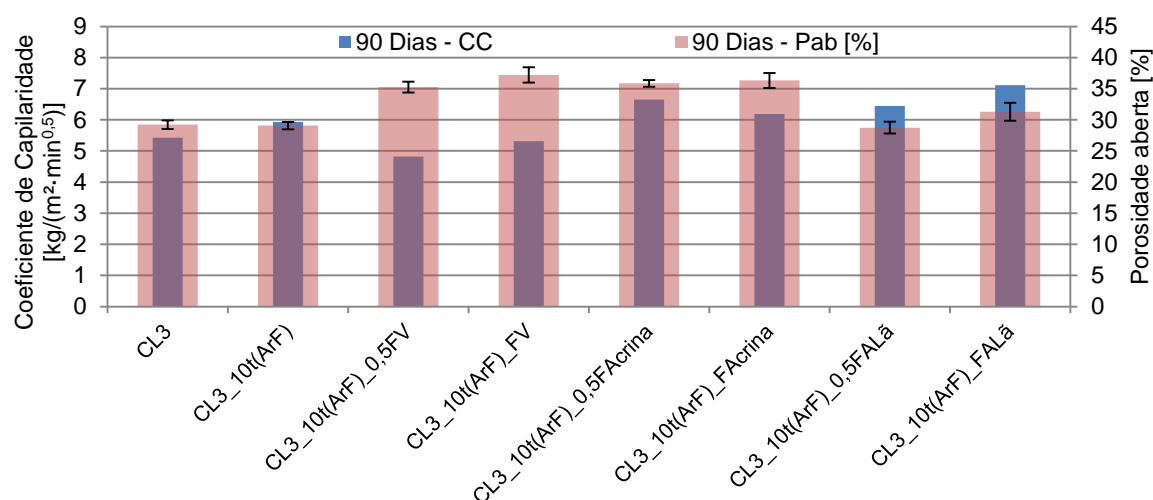


Figura 5.18 - Comparação entre o coeficiente de capilaridade e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:3.

Como é possível verificar pela análise da Figura 5.17 e Figura 5.18, o aumento da porosidade aberta das argamassas diminui o seu coeficiente de capilaridade, ou seja, estas absorvem água mais lentamente. Este facto vai de encontro com o obtido em Rato (2006), em que as argamassas mais porosas apresentaram menor coeficiente de capilaridade, ou seja, mostraram uma menor absorção de água por capilaridade inicial. A introdução de casca de arroz e crina de cavalo nas argamassas em estudo revelam um aumento da porosidade aberta, relativamente à referência, e consequentemente obtêm valores inferiores de coeficiente de capilaridade. Por outro lado, as argamassas que contêm lã de ovelha apresentam os resultados mais baixos de porosidade aberta, o que conduz a valores relativamente elevados de coeficiente de capilaridade.

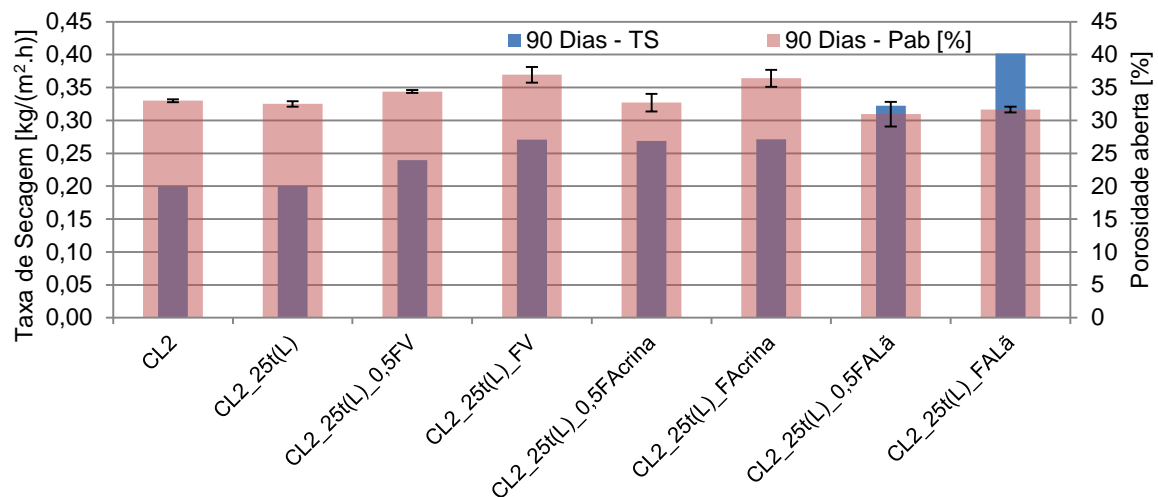


Figura 5.19 - Comparação entre a taxa de secagem e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:2.

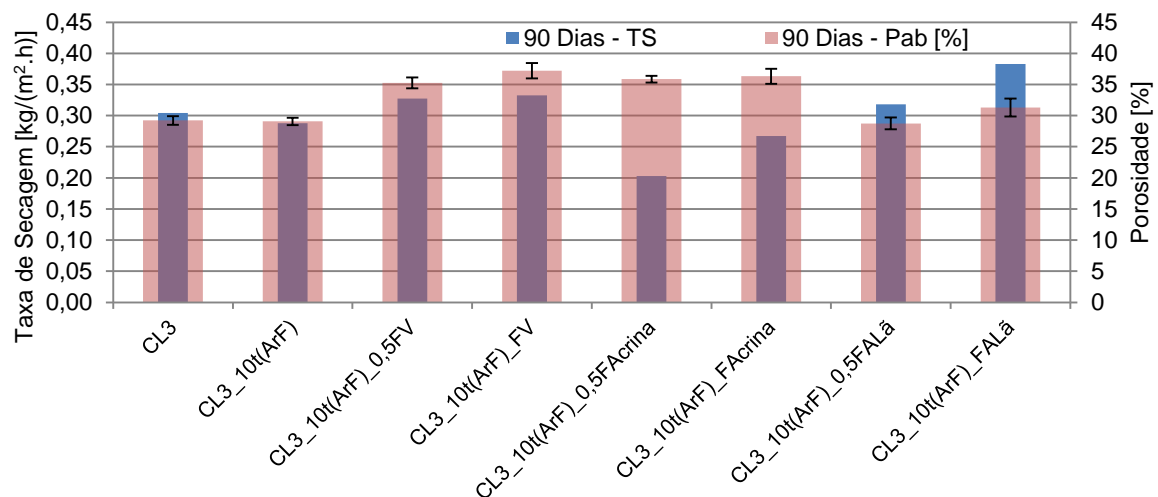


Figura 5.20 - Comparação entre a taxa de secagem e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:3.

A observação da Figura 5.19 e Figura 5.20 permite perceber que, à semelhança do coeficiente de capilaridade, também a taxa de secagem é inversamente proporcional ao número de poros existentes

numa argamassa. Excluindo as argamassas com fibras vegetais de traço 1:3, em todas as outras é visível pelos gráficos, que o aumento da porosidade diminui a taxa de secagem.

O comportamento das argamassas de referência relativamente à taxa de secagem é muito diferente entre traços, dado que as argamassas de traço 1:2 (CL2 e CL2\_25t(L)) apresentam taxas de secagem na ordem de  $0,2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , enquanto as de traço 1:3 (CL3 e CL3\_10t(ArF)) obtêm valores na ordem dos  $0,3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , para valores de porosidade aberta de cerca de 30% em ambos os traços. Contudo, estes valores são muito semelhantes aos obtidos nos trabalhos de Jamú (2013) e Dias (2013) respectivamente, onde foram produzidas argamassas semelhantes.

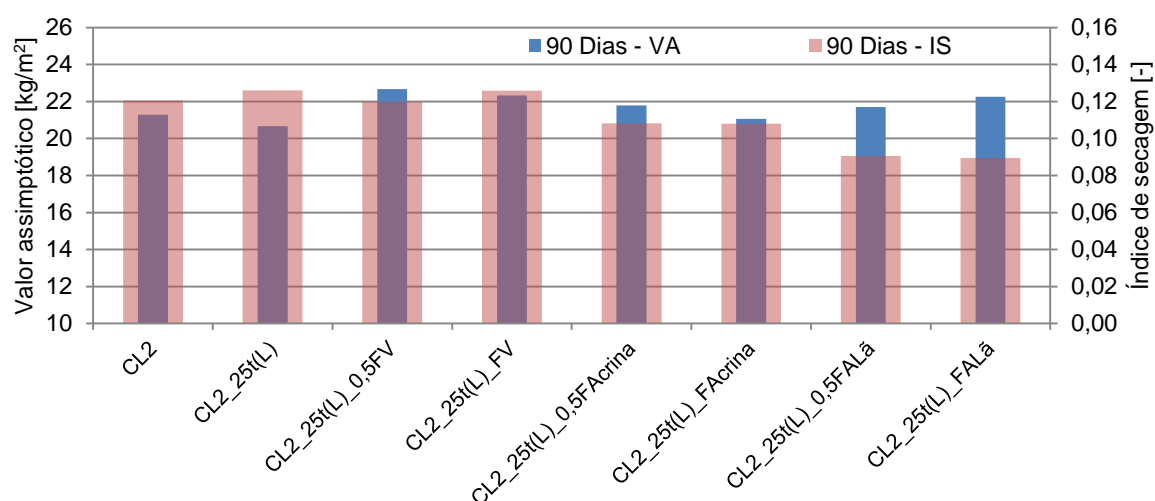


Figura 5.21 - Comparação entre o valor assintótico e o índice de secagem aos 90 dias – Traço 1:2.

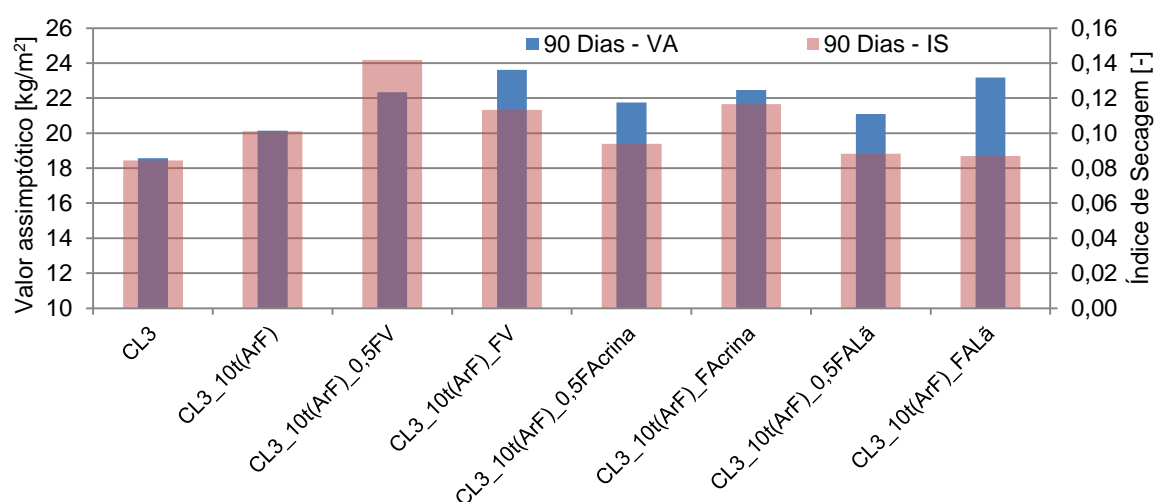


Figura 5.22 - Comparação entre o valor assintótico e o índice de secagem aos 90 dias – Traço 1:3.

Através da análise da Figura 5.21 e Figura 5.22 não é evidente a relação entre o valor assintótico e o índice de secagem, uma vez que as argamassas de referência apresentam comportamentos muito



distintos dependendo do traço. Contudo é perceptível que a introdução de lã de ovelha nas argamassas melhora a sua facilidade em secar (diminui o índice de secagem). Por outro lado, as argamassas com fibras vegetais apresentam o pior comportamento face à água uma vez que apresentam o conjunto de resultados mais elevados de valor assintótico e índice de secagem de ambos os traços em estudo.

Pelos resultados obtidos em Dias (2013) e Jamú (2013) era expectável que o VA e o IS revelassem uma certa proporcionalidade, o que até se verifica nas argamassas de referência; contudo a introdução de fibras contrariou totalmente essa tendência.

A quantidade máxima de água que penetra numa argamassa, valor assintótico (VA), é proporcional à quantidade de poros capilares existentes. Segundo a lei Kelvin, quanto maior for a dimensão dos poros, tanto maior terá que ser a humidade relativa necessária para ocorrer condensação capilar, ou seja, quanto menor for o raio dos poros de uma argamassa, mais dificuldade esta terá em secar (maior índice de secagem (IS)) (Henriques 2007). O ensaio da porosidade aberta não consegue identificar o tamanho dos poros que formam a microestrutura existente numa argamassa; para tal seria necessário um ensaio de porosimetria de mercúrio que neste caso seria muito útil para retirar conclusões. Uma vez que este não foi realizado, nos gráficos da Figura 5.23, Figura 5.24, Figura 5.25 e Figura 5.26 as comparações serão feitas apenas entre os resultados do valor assintótico, índice de secagem e porosidade aberta.

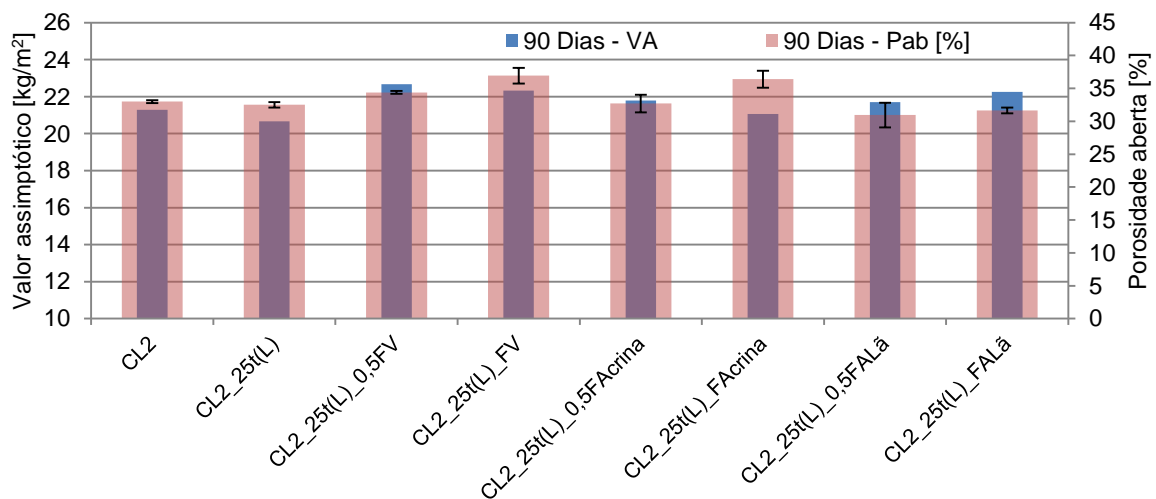


Figura 5.23 - Comparação entre o valor assintótico e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:2.

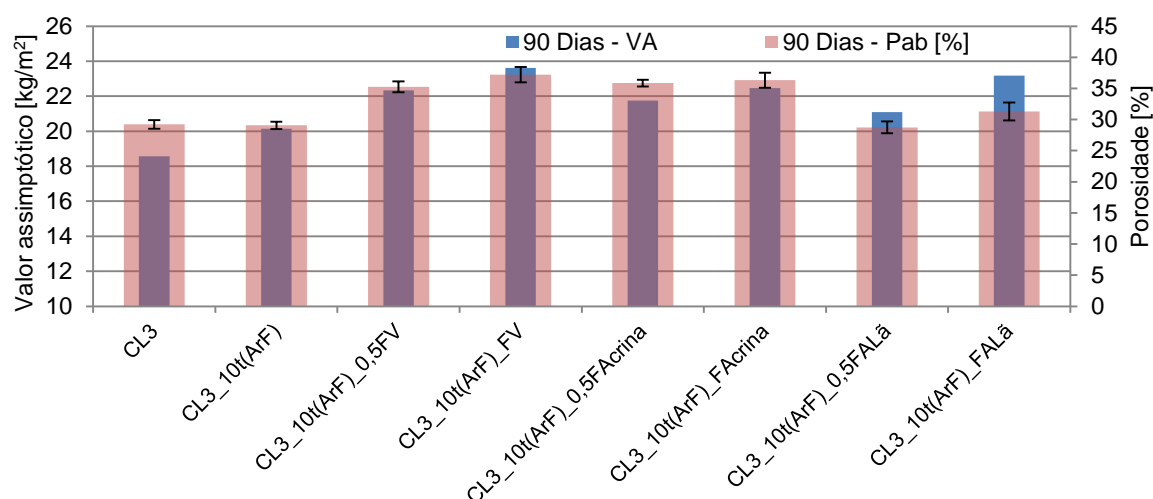


Figura 5.24 - Comparação entre o valor assintótico e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:3.

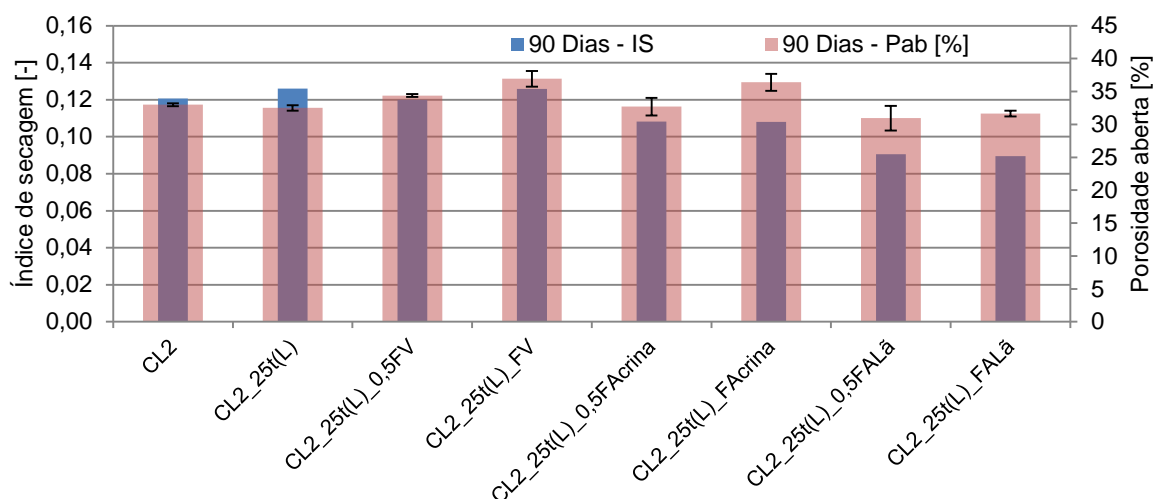


Figura 5.25 - Comparação entre o Índice de secagem e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:2.

Pela observação das figuras (Figura 5.23, Figura 5.24, Figura 5.25 e Figura 5.26) não é evidente qualquer proporcionalidade entre o valor assintótico e o índice de secagem com a porosidade aberta. No entanto, é perceptível a tendência da introdução de fibras aumentar o valor assintótico e diminuir o índice de secagem, com exceção da adição de fibras vegetais que aumenta ambas as características.

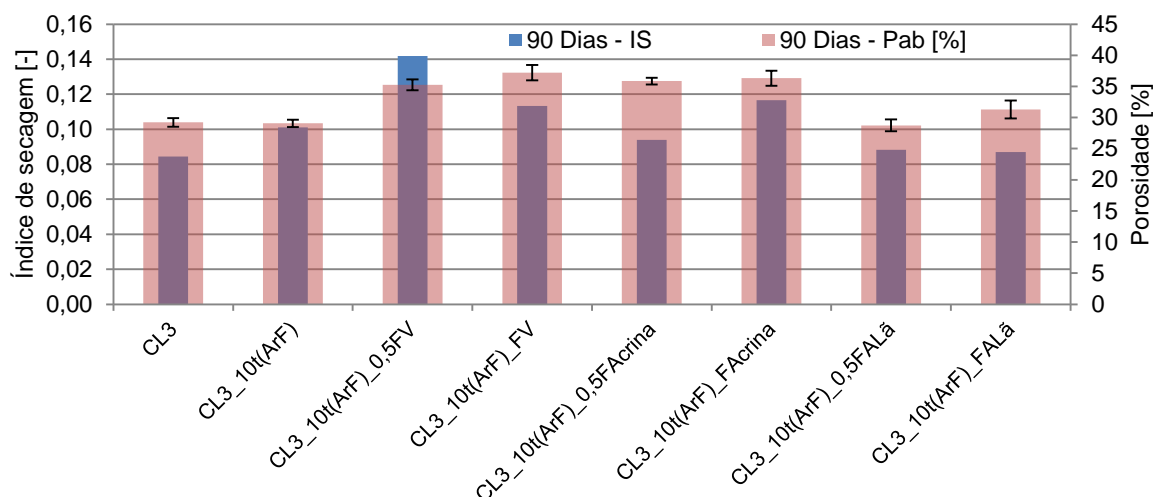


Figura 5.26 - Comparação entre o Índice de secagem e porosidade aberta aos 90 dias – Traço 1:3.

No geral do comportamento face à água em provetes prismáticos é possível concluir que as argamassas de referência sem terra de traço mais fraco, 1:3, não só absorvem menos água, mas também secam mais rapidamente que as de traço mais forte, 1:2. No entanto a introdução de terra e fibras conduz a comportamentos mais aproximados entre os diferentes traços, mas ainda assim muito difíceis de comparar entre si. A introdução de fibras no geral, conduziu a maiores valores assintóticos, ou seja, as argamassas absorvem maior quantidade de água, ainda que não seja necessariamente de forma mais rápida. Relativamente apenas às que contêm fibras, as argamassas que revelam melhor comportamento à acção da água são as de lã de ovelha uma vez que estas apresentem menores valores de índice de secagem e maiores valores de taxa de secagem, como já se tinha concluído em 4.2.1.7. A introdução de fibras vegetais reduz a capacidade global de secagem, enquanto a crina de cavalo diminui a velocidade inicial de secagem.

### 5.3.5. Propriedades mecânicas: Provetes prismáticos

No presente subcapítulo é feita uma comparação entre os resultados obtidos nos ensaios que determinam as características mecânicas das argamassas aos 180 dias, nomeadamente o módulo de elasticidade dinâmico, a resistência à tracção e à compressão, bem como a comparação com os resultados de outros ensaios que ajudem a compreender o comportamento mecânico das argamassas em estudo.

Na Figura 5.27 e Figura 5.28 faz-se um confronto entre os resultados das três características mecânicas estudadas em provetes prismáticos aos 180 dias de cura.

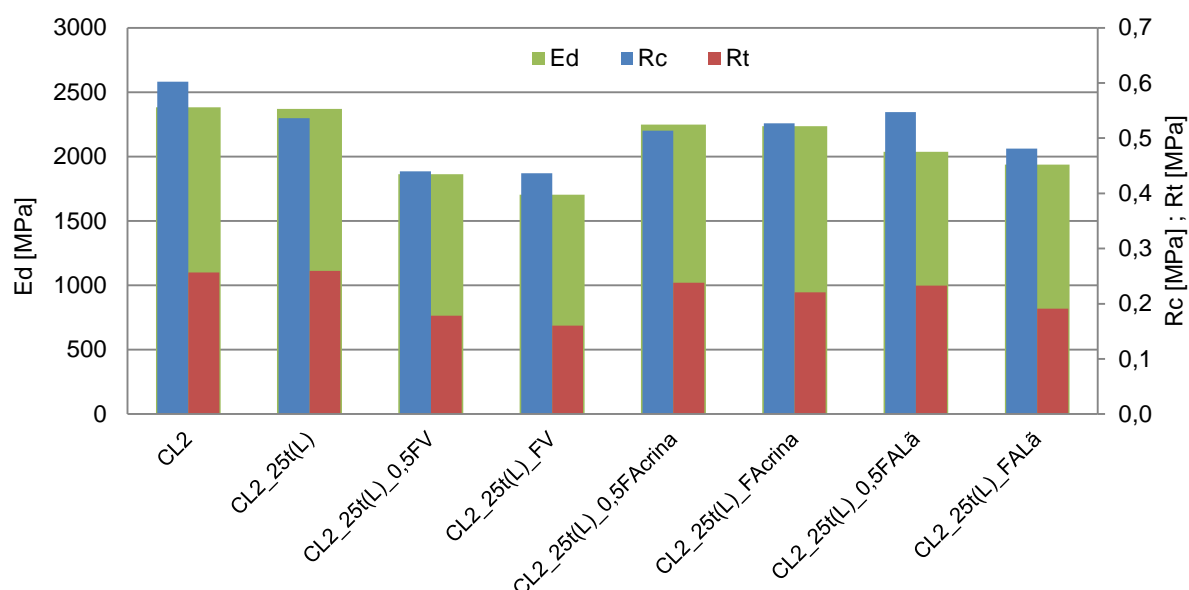


Figura 5.27 - Comparação entre as resistências à compressão e tração e módulo de elasticidade dinâmico aos 180 dias – Traço 1:2.

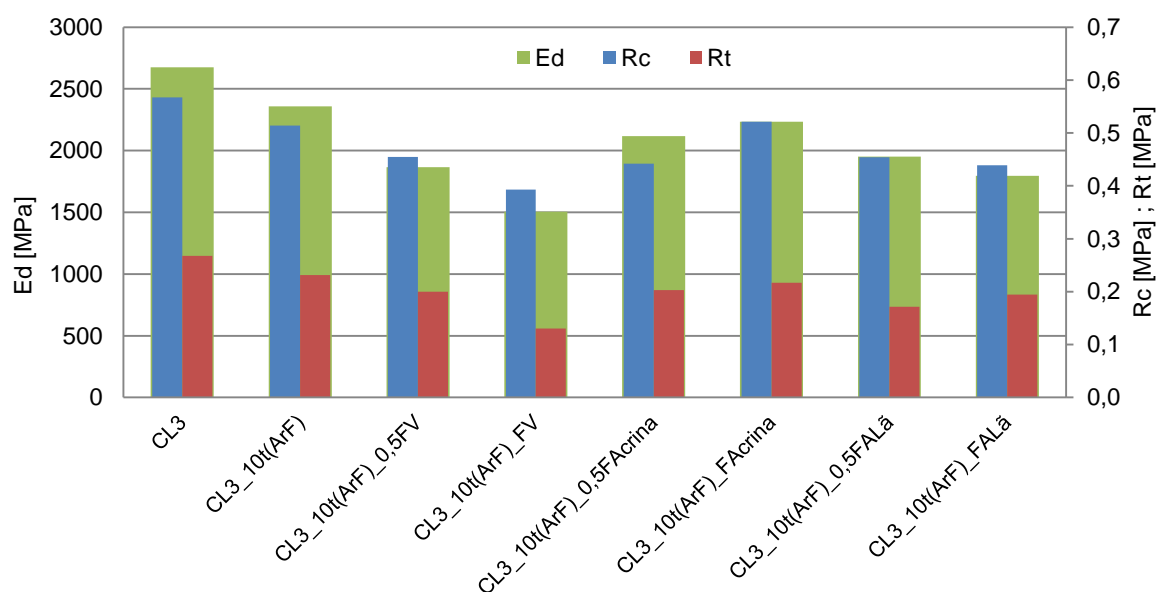


Figura 5.28 – Comparação entre as resistências à compressão e tração e módulo de elasticidade dinâmico aos 180 dias – Traço 1:3.

Como é possível verificar pela análise das figuras (Figura 5.27 e Figura 5.28), em ambos os traços, as resistências à compressão, tração e módulo de elasticidade dinâmico são directamente proporcionais entre si e diminuem com a introdução de terra e com a introdução de fibras vegetais e lã de ovelha, mantendo as suas características quando adicionada a crina de cavalo. No estudo de Gomes *et al.* (2012a) foram realizadas argamassas de terra argilosa, a mesma utilizada no presente estudo, às quais foram adicionadas pequenas percentagens de cal (5%, 10% e 15% face à massa de terra) e fibras de cânhamo (5% face à massa de terra). Os valores absolutos não são obviamente comparáveis visto que são muito inferiores ao deste estudo, uma vez que a cal é um ligante muito mais forte

que a terra. No entanto, é possível verificar algumas tendências semelhantes, nomeadamente o facto da introdução de fibras de cânhamo diminuir o módulo de elasticidade e resistência à tracção, quer nas argamassas de terra, quer nas de terra com cal, à semelhança do que acontece com a introdução de fibras da mesma natureza (vegetal), como se pode ver na Figura 5.27 e Figura 5.28.

Di Bella *et al.* (2014) desenvolveram argamassas de cal aérea com a introdução de sisal e cânhamo e estas também foram ensaiadas pelo mesmo equipamento à tracção e à compressão. Apesar do tempo de cura ser muito inferior, 56 dias, os resultados encontram-se relativamente perto do intervalo de valores obtido no presente estudo. As resistências à tracção variam entre 0,29-0,38 [MPa] e as resistências à compressão entre 0,32-0,39 [MPa], para as argamassas com cânhamo e sisal respectivamente. Ou seja, comparativamente com as argamassas de casca de arroz da presente dissertação, estas argamassas apresentam melhor resistência à tracção e pior resistência à compressão, mesmo estando num processo de cura muito menos desenvolvido.

Os resultados obtidos para a argamassa de referência podem ser comparados com resultados dos 90 dias de Dias (2013), para o traço 1:3, e Jamú (2013), para o traço 1:2. Para ambos os casos os valores obtidos também diminuem com a introdução de terra, mesmo sendo obtidos em idade diferentes (90 e 180 dias). Verifica-se ainda uma grande proximidade de valores (excepto CL3 em Dias (2013) que obteve um valor claramente superior), o que já era expectável dado que os materiais e as condições de cura são semelhantes aos utilizados no presente estudo.

Através do quociente entre a resistência à tração e a resistência à compressão é possível avaliar a deformabilidade de uma argamassa, sendo esta tanto mais dúctil quanto maior for o quociente entre as resistências mecânicas à tração e à compressão ( $R_t/R_c$ ). Um comportamento mais dúctil de determinada argamassa permite otimizar a sua resistência às tensões de tracção criadas sem transmitir esforços elevados ao suporte (Faria 2004). Na Figura 5.29 e Figura 5.30 procura-se relacionar duas propriedades que avaliam a deformabilidade das argamassas, nomeadamente o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente  $R_t/R_c$ .

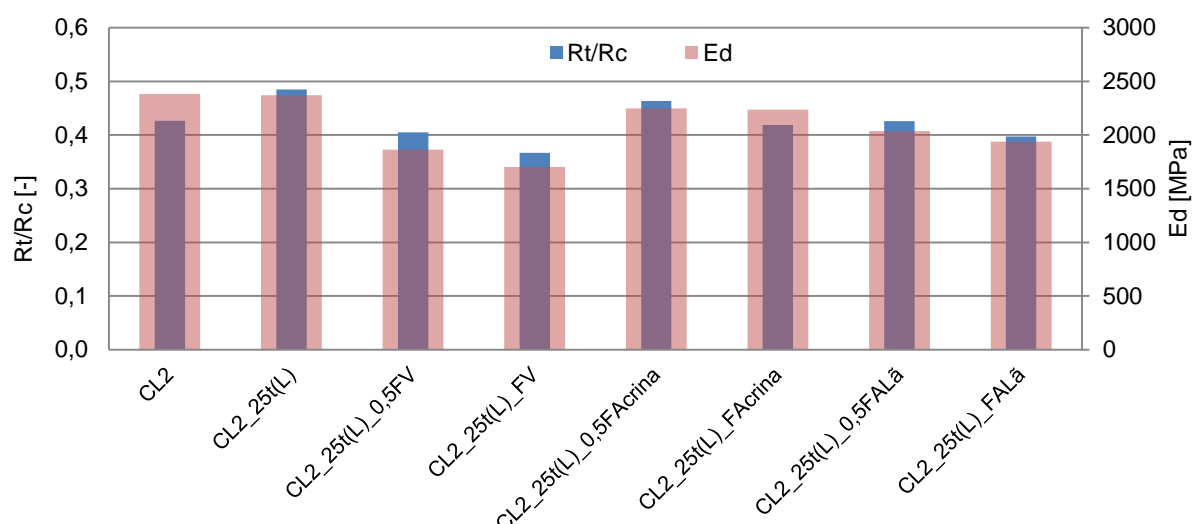


Figura 5.29 – Comparação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente entre a resistência à tração e à compressão aos 180 dias – Traço 1:2.

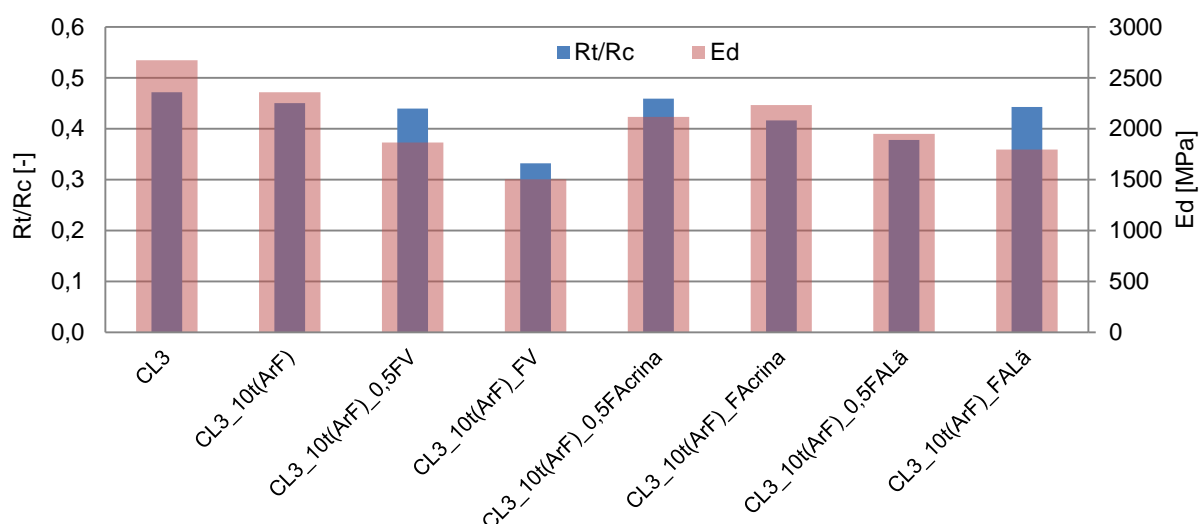


Figura 5.30 - Comparação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente entre a resistência à tração e à compressão aos 180 dias – Traço 1:3.

Como foi mencionado anteriormente, o aumento de  $Rt/Rc$  origina argamassas mais dúcteis, logo, seria expectável que esse quociente fosse inversamente proporcional ao módulo de elasticidade dinâmico. No entanto esse facto não é de todo perceptível, como se pode observar nas figuras (Figura 5.29 e Figura 5.30), salvo nas argamassas com lã de ovelha de traço 1:3 e nas de referência e com crina de cavalo de traço 1:2. Na generalidade das argamassas em estudo a adição de fibras contribuiu para uma diminuição do quociente  $Rt/Rc$ , com maior notoriedade nas argamassas com fibras vegetais, sendo que nas argamassas com menor dosagem de crina de cavalo esse valor não alterou relativamente à referência. Como tal, é possível afirmar que, relativamente às argamassas em estudo, é muito difícil concluir a sua ductilidade através da comparação do quociente  $Rt/Rc$  com o módulo de elasticidade dinâmico.

A fendilhação é um dos tipos de anomalia com maior influência no comportamento dos rebocos, já que afecta a sua capacidade de impermeabilização, prejudica gravemente a aparência e, ao facilitar a infiltração de água e de outros agentes e a fixação de microorganismos, reduz a durabilidade do revestimento (Veiga 2005). A tendência para a fendilhação será tanto menor quanto mais reduzida for a retracção e menor for a relação módulo de elasticidade/resistência à tracção, pelo que uma retracção reduzida e um módulo de elasticidade baixo são aconselháveis numa argamassa para reboco (Veiga 2003; Faria-Rodrigues 2004). Na Figura 5.31 e Figura 5.32 relaciona-se o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente  $E_d/R_t$ , com o objectivo de perceber a susceptibilidade de fendilhação das diferentes argamassas em estudo.

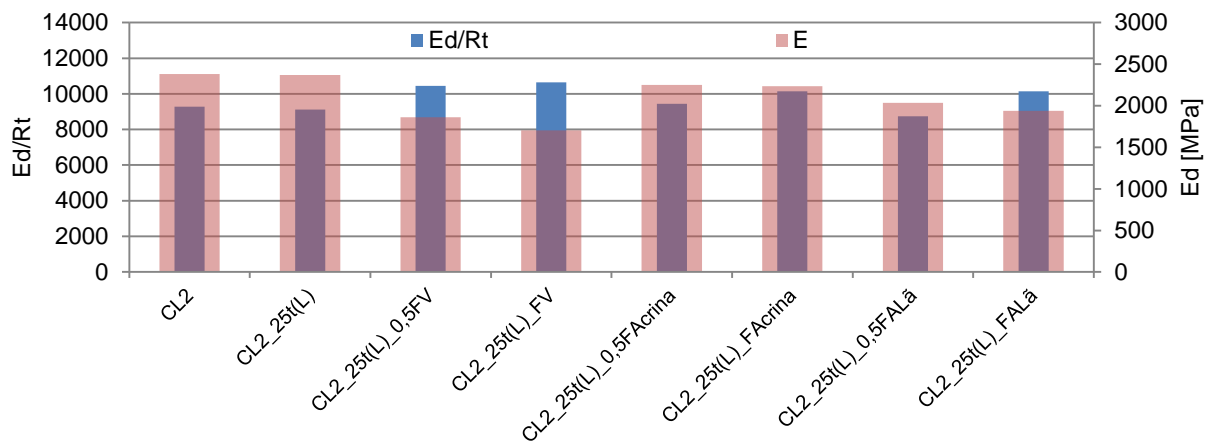


Figura 5.31 - Comparação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente entre o módulo de elasticidade e a resistência à tracção aos 180 dias – Traço 1:2.

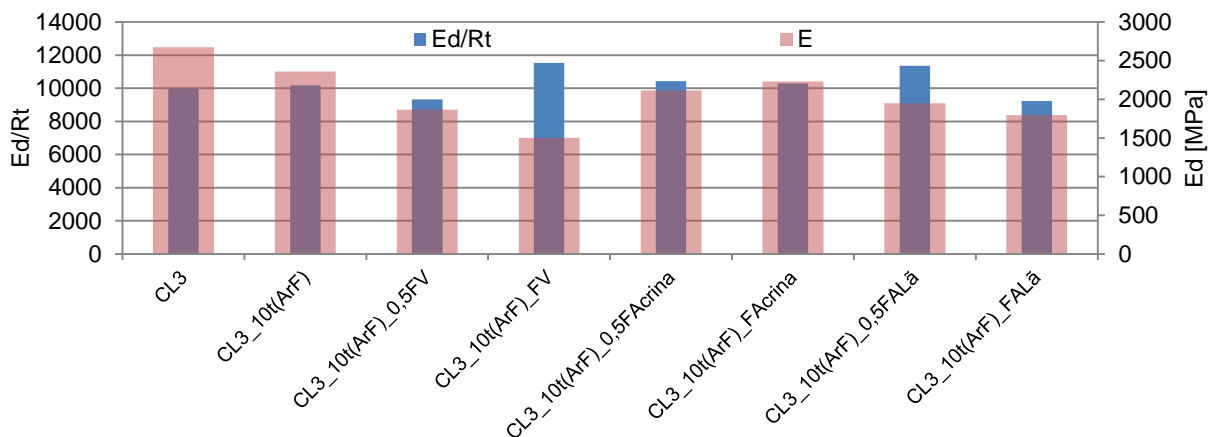


Figura 5.32 - Comparação entre o módulo de elasticidade dinâmico e o quociente entre o módulo de elasticidade e a resistência à tracção aos 180 dias – Traço 1:3.

Pela observação das figuras anteriores (Figura 5.31 e Figura 5.32) pode-se concluir que as argamassas com menor susceptibilidade à fendilhação são a CL2\_25t(L)\_0,5FAlã, CL3\_10t(ArF)\_0,5FV e CL3\_10t(ArF)\_FAlã uma vez que apresentam um conjunto mais baixo de valores para o quociente  $E_d/R_t$  e para o módulo de elasticidade dinâmico.

Como já se mostrou em 4.2.1.8 o volume de poros, avaliados neste trabalho pela porosidade aberta, é inversamente proporcional à massa volúmica de uma determinada argamassa. Na Figura 5.33, Figura 5.34, Figura 5.35 e Figura 5.36 compara-se a porosidade aberta e a massa volúmica com a resistência à compressão, aos 180 dias, com o objectivo de perceber qual a influência da compactação de uma argamassa nesta característica mecânica.

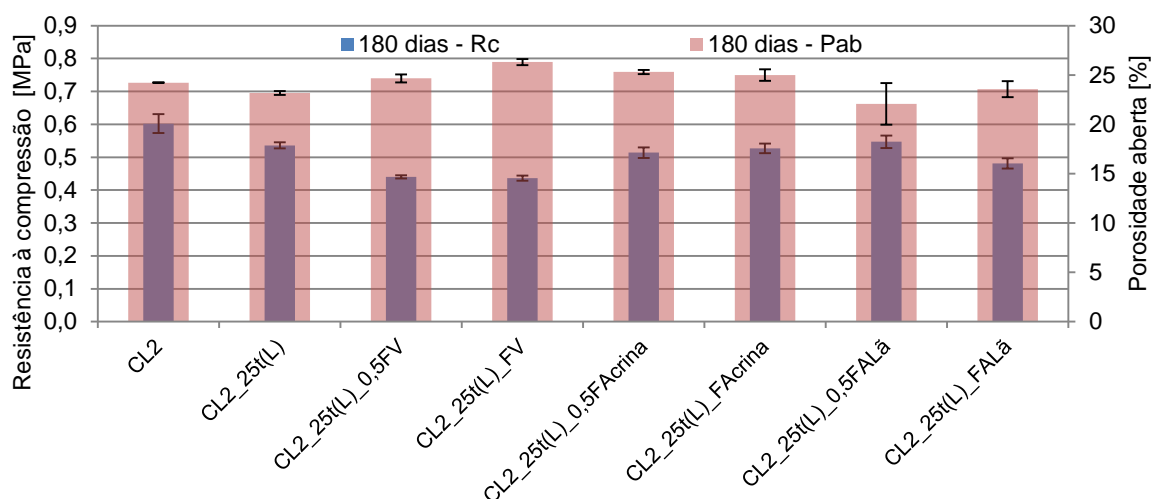


Figura 5.33 - Comparação entre a resistência à compressão e a porosidade aberta aos 180 dias – Traço 1:2.

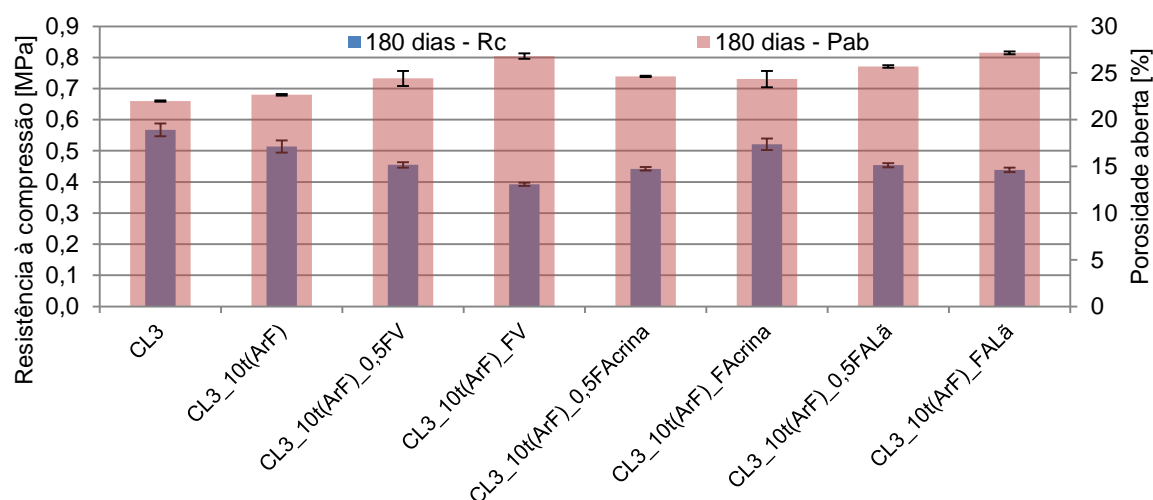


Figura 5.34 - Comparação entre a resistência à compressão e a porosidade aberta aos 180 dias – Traço 1:3.

Pela análise da Figura 5.33 e Figura 5.34 concluiu-se que, para todas as argamassas em estudo, a porosidade aberta é inversamente proporcional à resistência à compressão. Como tal verifica-se, como é afirmado por Rato (2006), que a resistência mecânica das argamassas depende da sua compactação. As argamassas com fibras vegetais destacam-se como as que apresentam maior porosidade e, conseqüentemente, menor resistência à compressão, ao contrário das argamassas de referência sem terra que se mostram como as mais resistentes.



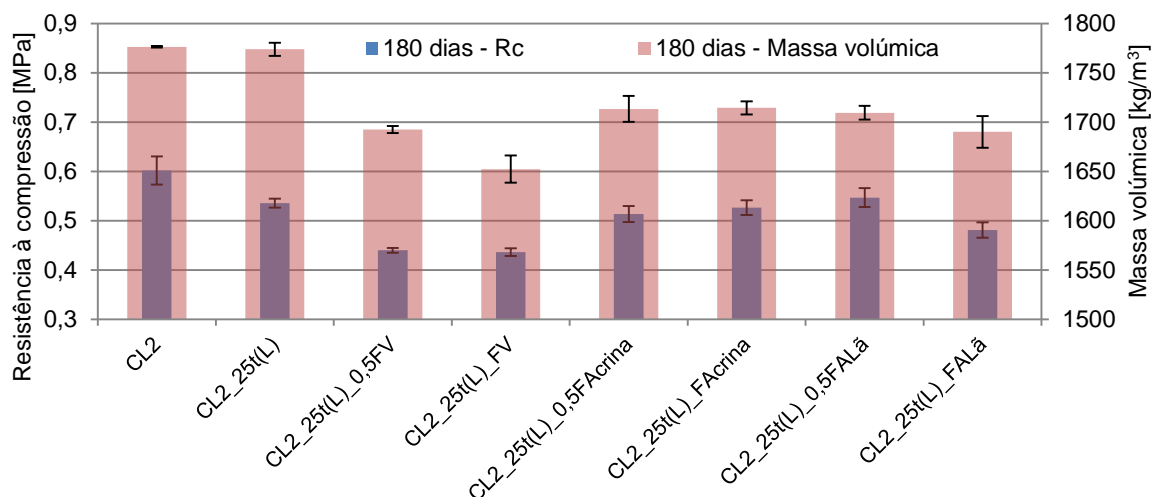


Figura 5.35 - Comparação entre a resistência à compressão e a massa volúmica aos 180 dias – Traço 1:2.

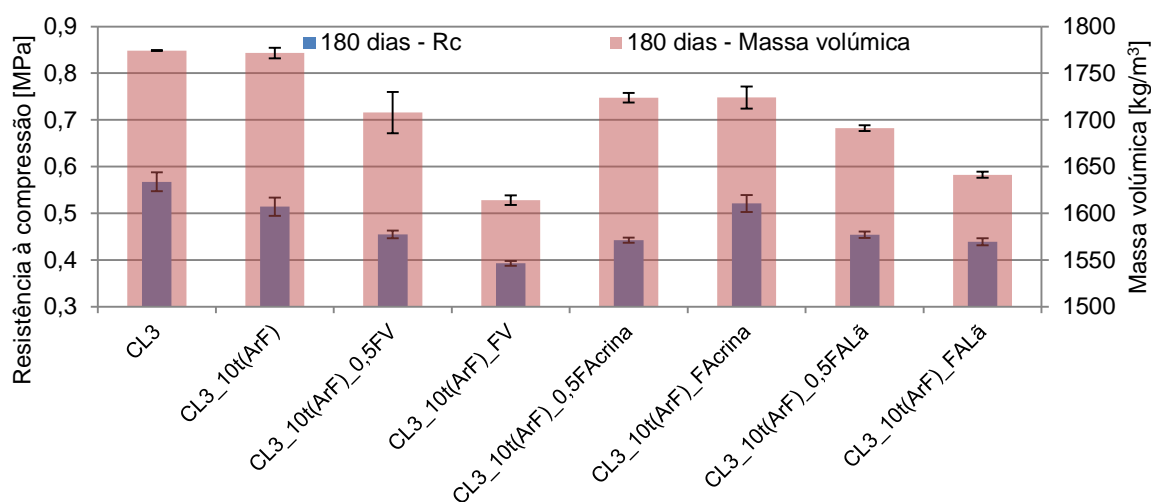


Figura 5.36 - Comparação entre a resistência à compressão e a massa volúmica aos 180 dias – Traço 1:3.

Como já era expectável pela análise feita anteriormente, a observação da Figura 5.35 e Figura 5.36 permite confirmar que, de facto, para as argamassas em estudo, a massa volúmica é directamente proporcional à resistência à compressão. Como tal pode-se concluir que a compacidade de uma argamassa tem uma influência determinante na sua resistência.

### 5.3.6. Influência do suporte: Murete de taipa versus tijolo corrente

A caracterização dos rebocos de argamassa aplicados sobre o murete de taipa realizou-se aos 28 dias de idade, pelo que, para manter a coerência com a restante discussão de resultados, apenas serão comparados com os resultados obtidos nos provetes em suporte tijolo para o mesmo tempo de cura. Para além da natureza do suporte, também as condições de cura são variáveis entre o murete de taipa e os tijolos, pelo que esse facto também influencia os resultados obtidos.

Na Figura 5.37 é feito um confronto entre os valores da dureza superficial obtida nas argamassas aplicadas em suporte tijolo e no reboco aplicado sobre o murete de taipa.

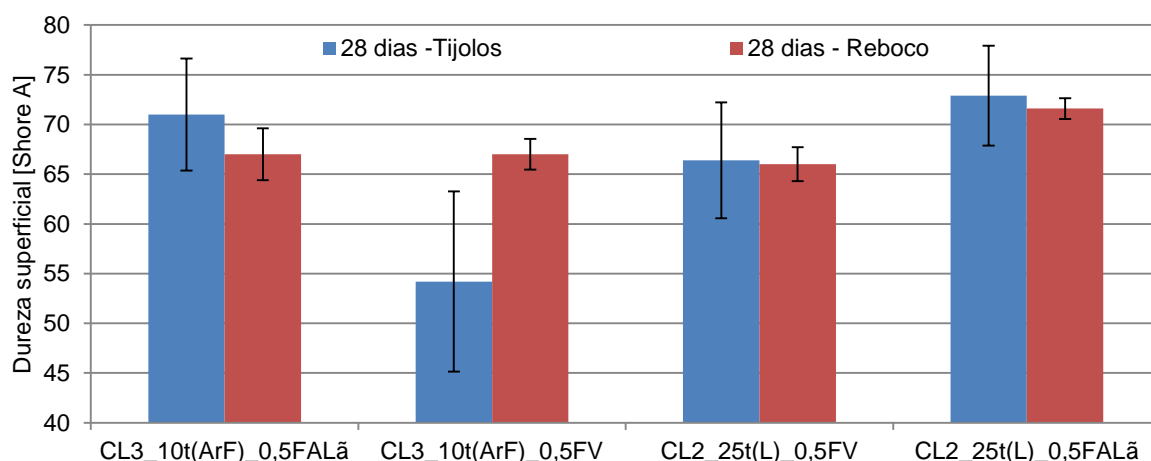


Figura 5.37 – Comparação da dureza superficial (durômetro Shore A) das argamassas aplicadas em suporte tijolo e em reboco no murete de taipa aos 28 dias.

A primeira conclusão que se pode retirar é que o desvio padrão nos provetes em suporte tijolo é muito superior ao das argamassas em reboco, o que retira alguma certeza à análise. No entanto, considerando apenas os valores médios, conclui-se que estes são realmente muito próximos e, como já seria de esperar, o tipo de suporte não influencia a dureza superficial, quando avaliada com o durômetro Shore A, uma vez que o aparelho utilizado no ensaio não tem a capacidade de avaliar em profundidade.

Na Figura 5.38 e Figura 5.39 é feita a comparação entre os resultados obtidos no ensaio de absorção de água sob baixa pressão realizado à camada de argamassa sobre tijolo e ao reboco de argamassa sobre o murete de taipa.

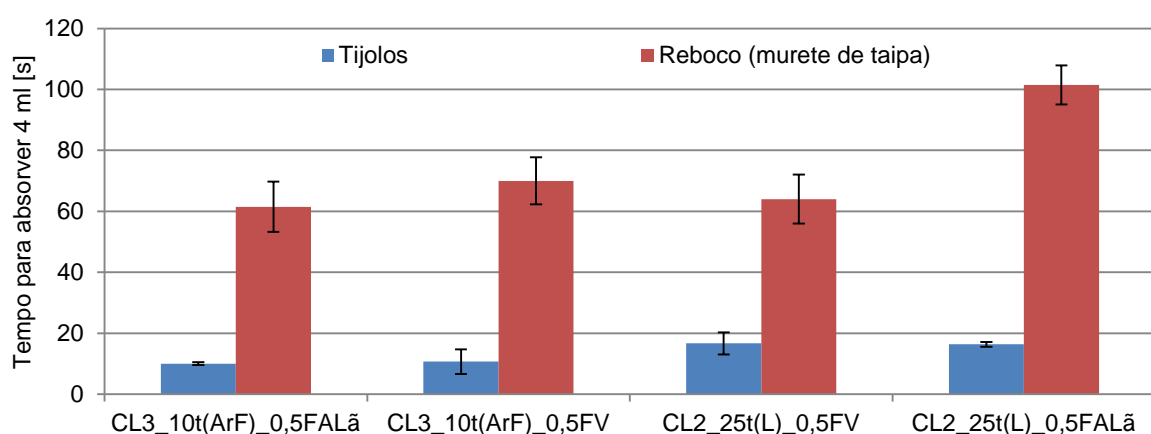


Figura 5.38 - Comparação do tempo necessário para absorver 4 ml das argamassas aplicadas sobre tijolo e no reboco do murete de taipa aos 28 dias.

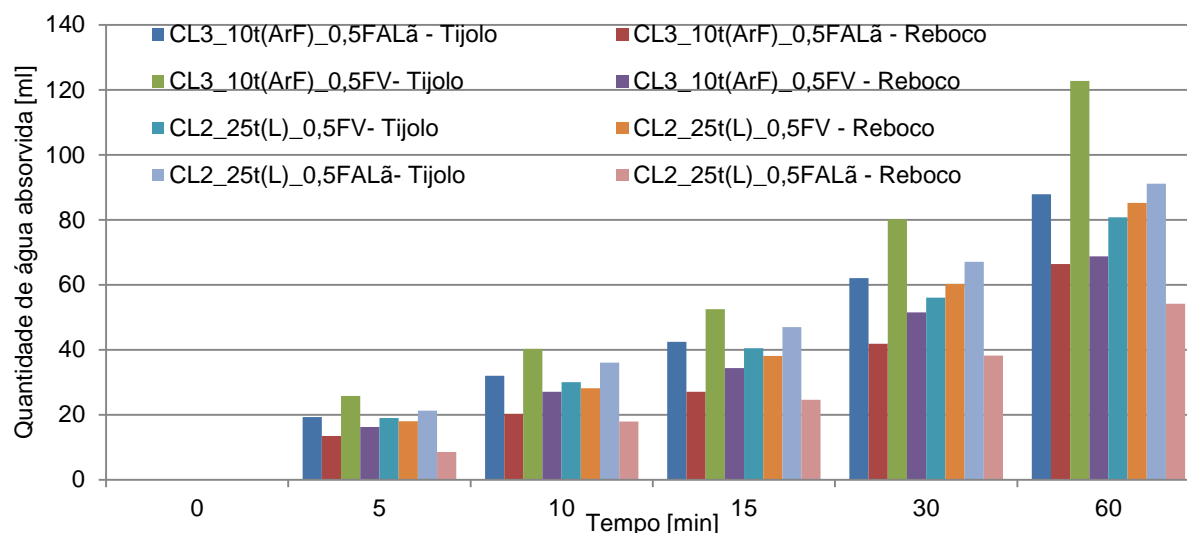


Figura 5.39 - Comparação da quantidade de água absorvida pelas argamassas aplicadas sobre tijolo e no reboco do murete de taipa aos 28 dias.

Fazendo uma análise simultânea à absorção inicial de 4 ml (Figura 5.38) e à quantidade de água absorvida ao fim de 60 minutos (Figura 5.39) verifica-se que as argamassas aplicadas sobre o murete de taipa demoram muito mais tempo a absorver os 4 ml de água iniciais e ao fim de 60 minutos absorvem menor quantidade de água comparativamente às homónimas aplicadas em suporte de tijolo. Isso deve-se não só às características do suporte, uma vez que através da caracterização dos suportes se percebeu (em 3.3.3 e 4.3.1) que o murete de taipa tinha muito maior capacidade de absorção que o tijolo corrente, mas sobretudo ao facto das condições de temperatura e humidade relativa entre ensaios ser muito diferente e a espessura de argamassa aplicada em cada suporte ser também diferente. Como tal, pode-se concluir que, tendencialmente, as argamassas aplicadas no murete de taipa oferecem mais resistência à absorção de água porque foram aplicadas em duas camadas (salpisco e camada de base), ao contrário das aplicadas em suporte tijolo em camada única e, consequentemente, com menor espessura total.

#### 5.4. Avaliação das argamassas

A avaliação das argamassas desenvolvidas no presente trabalho terá por base a Tabela 2.1, apresentada em 2.3.3, onde consta uma gama de valores de referência para argamassas de cal aérea de revestimento para edifícios antigos aos 90 dias de idade (Veiga *et al.* 2010). Todos os valores de coeficiente de capilaridade para as argamassas em estudo a 90 dias se encontram fora do intervalo  $1,0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}) < \text{CC} < 1,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ . Tal situação pode ficar a dever-se ao facto do ensaio ter sido realizado com a impermeabilização lateral dos provetes por película de polietileno que, comparativamente à aplicação de uma resina impermeabilizante, indicia propiciar um aumento do CC atingido. Na Tabela 5.4 apenas serão tidas em conta as propriedades mecânicas (resistência à tracção e à compressão e módulo de elasticidade dinâmico).

Tabela 5.4 – Avaliação das propriedades mecânicas das argamassas aos 90 dias segundo a Tabela 2.1 (Veiga *et al.* 210).

Argamassas	Reboco exterior	Reboco interior	Refechamento de juntas
CL2	✓	✓	X
CL2_25t(L)	✓	✓	X
CL2_25t(L)_0,5FV	X	X	X
CL2_25t(L)_FV	X	X	X
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	✓	✓	X
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	✓	✓	X
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>lã</sub>	✓	✓	X
CL2_25t(L)_FA <sub>lã</sub>	✓	✓	X
CL3	✓	✓	X
CL3_10t(ArF)	✓	✓	X
CL3_10t(ArF)_0,5FV	X	X	X
CL3_10t(ArF)_FV	X	X	X
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	✓	✓	X
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	✓	✓	X
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>lã</sub>	✓	✓	X
CL3_10t(ArF)_FA <sub>lã</sub>	✓	✓	X

✓ - Verifica; X - Não verifica

Pela avaliação realizada na Tabela 5.4 pode-se concluir que nenhuma argamassa desenvolvida se adequa ao refechamento de juntas de edifícios antigos, dado que nenhuma atingiu o requisito mínimo de 3000 N/mm<sup>2</sup> de valor de módulo de elasticidade. Relativamente às resistências mecânicas, todas as argamassas estudadas, à exceção das com casca de arroz, mostram poder ser utilizadas como argamassas de revestimentos para rebocos exteriores e interiores. As argamassas com casca de arroz não revelam resistência mecânica suficiente para aplicação como reboco, nuns casos por falta de resistência à tração e noutros à compressão.

Se a avaliação for feita com os valores de referência mencionados na Tabela 2.2, para rebocos de edifícios correntes segundo a norma EN 998-1 (CEN 2010), verifica-se que tanto o coeficiente de capilaridade como a condutibilidade térmica não respeitam os valores mínimos impostos. Relativamente aos valores das resistências mecânicas estes são incomparáveis uma vez que se destinam a argamassas com um tempo de cura de apenas 28 dias (geralmente constituídas por ligantes hidráulicos) e no presente estudo não foram realizados ensaios de resistências a essa idade, uma vez que as argamassas de cal aérea não têm o seu processo de carbonatação suficientemente desenvolvido em idades tão jovens. Pode-se desta forma concluir que nenhuma das argamassas estudadas respeita a gama de valores mencionada na norma EN 998-1 (CEN 2010) e que se aconselha a sua aplicação apenas em edifícios com paredes de baixas resistências mecânicas.

Na Tabela 5.5, Tabela 5.6 e Tabela 5.7 encontra-se um resumo dos resultados dos ensaios realizados e a avaliação das argamassas com fibras face à argamassa de referência com terra e face à quantidade de fibras introduzidas. A inclusão dessas tabelas permite fazer uma interpretação resumida dos resultados, com base em valores médios, de forma a perceber qual a influência directa da introdução de diferentes fibras naturais em cada característica avaliada das argamassas estudadas.

Tabela 5.5 – Resumo da avaliação das argamassas em estado fresco e em estado endurecido aos 28 dias de cura.

		Argamassas													
		CL2_25 t(L)	CL2_25 t(L)_ 0,5FV	CL2_25 t(L)_FV	CL2_25 t(L)_0,5 FA <sub>crina</sub>	CL2_25 t(L)_ FA <sub>crina</sub>	CL2_25 t(L)_0,5 FA <sub>lã</sub>	CL2_25 t(L)_ FA <sub>lã</sub>	CL3_10 t(ArF)	CL3_10 t(ArF)_ 0,5FV	CL3_10 t(ArF)_ FV	CL3_10 t(ArF)_ 0,5FA <sub>crina</sub>	CL3_10 t(ArF)_ FA <sub>crina</sub>	CL3_10 t(ArF)_ 0,5FA <sub>lã</sub>	CL3_10 t(ArF)_ FA <sub>lã</sub>
Estado fresco	Consistência por espalhamento [mm]	136,5	+	++	+	++	+	++	141,5	+	++	+	+-	+	++
	Teor em ar [%]	4,0	+	++	-	-	+	=-	4,0	+	+-	-	-	=	--
	Retenção de água [%]	91,6	-	++	-	=+	-	--	90,1	-	--	-	--	-	--
	Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	1931,7	-	--	-	-	-	--	1948,3	-	--	-	-	-	--
Provetes em estado endurecido (28 dias)	Prismas	Ultra-sons [m/s]	-	--	-	++	+	--	1162,55	-	--	+	++	-	-=
		Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	-	--	-	++	-	--	1653,44	-	--	-	++	-	--
		Ed [MPa]	-	--	-	++	-	--	2095,58	-	--	-	=-	-	--
		λ [W/m.K]	-	--	-	--	=	--	0,698	-	--	-	++	-	--
	Suporte de Tijolo	Durómetro [Shore A]	-	--	-	--	+	--	62,4	-	++	+	+-	+	++
		λ [W/m.K]	-	-=	-	--	-	-=	0,441	-	--	-	--	+	+-
		Ultra-sons [m/s]	+	+-	-	++	+	+-	1036,37	+	+-	+	+-	+	+=
		Coef. Absorção [kg/m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> ]	-	++	+	++	+	++	26,22	+	--	+	++	-	++
		Quantidade de água absorvida [ml]	-	++	+	++	+	++	97,55	+	--	+	++	-	++
	Reboco em Murete de Taipa (28 dias)	Durómetro [Shore A]	-	-	-	-	+	-	65*	+	-	-	-	+	-
		Esclerómetro [graus Vickers]	-	-	-	-	-	-	84*	-	-	-	-	-	-
		Coef. Absorção [kg/m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> ]	-	-	-	-	-	-	27,6*	-	-	-	-	-	-
		Quantidade de água absorvida [ml]	-	-	-	-	-	-	102,6*	-	-	-	-	-	-

\*Valores retirados de Jamú (2013) e Dias (2013) para a mesma argamassa aplicada no mesmo murete, mas ensaiada aos 90 dias.

Tabela 5.6 - Resumo da avaliação das argamassas em estado endurecido aos 90 dias.

			Argamassas													
			CL2_25 t(L)	CL2_25 t(L)_ 0,5FV	CL2_25 t(L)_FV	CL2_25 t(L)_0,5 FA <sub>crina</sub>	CL2_25 t(L)_ FA <sub>crina</sub>	CL2_25 t(L)_ 0,5FA <sub>lã</sub>	CL2_25 t(L)_ FA <sub>lã</sub>	CL3_10 t(ArF)	CL3_10 t(ArF)_ 0,5FV	CL3_10 t(ArF)_ FV	CL3_10 t(ArF)_ 0,5FA <sub>crina</sub>	CL3_10 t(ArF)_F A <sub>crina</sub>	CL3_10 t(ArF)_ 0,5FA <sub>lã</sub>	CL3_10 t(ArF)_F A <sub>lã</sub>
Provetes em estado endurecido (90 dias)	Prismas	Porosidade aberta [%]	32,50	+	++	=	++	-	-+	29,70	+	++	+	++	-	++
		Ultra-sons [m/s]	1201,53	-	--	+	++	-	--	1175,17	-	--	+	++	-	-+
		λ [W/m.K]	0,684	-	--	-	-+	+	--	0,639	-	--	+	--	=	--
		Massa volúmica [kg/m³]	1548,24	-	--	-	--	+	--	1515,28	-	--	-	--	+	+-
		Ed [MPa]	2435,5	-	--	-	-+	-	--	2251,08	-	--	=	==	-	--
		Rc [MPa]	0,53	-	--	=	++	+	+=	0,47	=	--	=	==	+	=-
		Rt [MPa]	0,25	-	--	-	+=	=	--	0,24	-	--	=	--	-	--
		Coef. Capilaridade [kg/m².min <sup>0,5</sup> ]	5,74	-	--	=	==	+	++	5,93	-	-+	+	+-	+	++
		Valor assimp-tótico [kg/m²]	20,67	+	+=	+	+-	+	++	20,14	+	++	+	++	+	++
		Taxa de Secagem [kg/(m².h)]	0,20	+	++	+	+=	+	++	0,29	+	+=	-	-+	+	++
		Índice de secagem [-]	0,13	-	+=	-	--	-	--	0,1	+	+-	-	++	-	--
	Δm 25c [%]	37,25	-	--	+	+=	+	+-	39,19	-	--	+	+=	-	++	
	Suporte de tijolo	Durómetro [Shore A]	77,9	-	-+	-	--	-	-+	69,1	+	++	+	+-	+	+-
		λ [W/m.K]	0,599	-	--	-	--	-	+=	0,517	-	--	-	--	+	+-
		Ultra-sons [m/s]	1399,41	-	-+	-	--	-	--	1225,59	-	--	+	--	+	+-
		Coef. Absorção [kg/m².min <sup>0,5</sup> ]	30,73	-	++	-	++	-	-+	44,26	-	++	+	++	-	-+
		Quantidade de água absorvida [ml]	114,35	-	++	-	++	-	-+	116,45	+	+-	+	++	+	++

Tabela 5.7 - Resumo da avaliação das argamassas em estado endurecido aos 180 dias.

			Argamassas													
			CL2_25t (L)	CL2_25t (L)_0,5F V	CL2_25t (L)_FV	CL2_25t (L)_0,5F A <sub>crina</sub>	CL2_25t (L)_FA <sub>cri</sub> na	CL2_25t (L)_0,5F A <sub>lã</sub>	CL2_25t (L)_FA <sub>lã</sub>	CL3_10t (ArF)	CL3_10t (ArF)_0, 5FV	CL3_10t (ArF)_F V	CL3_10t(A rF)_0,5FA <sub>c</sub> rina	CL3_10t (ArF)_F A <sub>crina</sub>	CL3_10t (ArF)_0, 5FA <sub>lã</sub>	CL3_10t (ArF)_F A <sub>lã</sub>
Provetes em estado endurecido (180 dias)	Prismas	Porosidade aberta [%]	24,69	+	+=	+	=-	-	==+	22,68	+	++	+	+=	+	++
		Ultra-sons [m/s]	1213,02	-	--	=	==	-	--	1205,11	-	--	-	-+	+	=-
		λ [W/m.K]	0,837	-	--	-	--	-	-+	0,839	-	-=	-	-=	-	--
		Massa volúmi- ca [kg/m³]	1738,79	+	--	-	-+	-	++	1771,67	-	--	-	-=	-	--
		Ed [MPa]	2370,2	-	--	-	--	-	--	2358,3	-	--	-	-+	-	--
		Rc [MPa]	0,54	-	-=	-	-+	=	--	0,51	-	--	-	++	-	--
		Rt [MPa]	0,26	-	--	-	--	-	--	0,23	-	--	-	==+	-	-+
		Coef. Capilari- dade [kg/m².min <sup>0,5</sup> ]	4,25	+	+=	+	+-	+	++	4,14	+	++	+	++	+	++
		Valor assimp- tótico [kg/m²]	18,00	+	++	+	+-	+	++	18,82	+	++	+	++	+	++
		Taxa de Seca- gem [kg/(m².h)]	0,15	+	++	-	++	+	++	0,17	+	--	+	+-	+	++
	Índice de seca- gem [-]	0,13	-	==+	-	-=	-	-=	0,10	+	+-	-	++	-	-=	
	Δm 25c [%]	66,17	-	--	+	+=	-	-+	69,44	-	--	+	+=	+	--	
	Suporte de tijolo	Durómetro [Shore A]	83,4	-	-+	-	--	-	-+	73,94	+	++	+	+-	+	++
		λ [W/m.K]	0,660	-	-=	-	--	-	==+	0,52	-	--	-	--	+	+-
		Ultra-sons [m/s]	1358,53	+	++	-	-+	+	++	1225,59	+	--	+	+-	+	+-
		Coef. Absorção [kg/m².min <sup>0,5</sup> ]	22,80	+	++	+	++	+	++	42,79	-	--	-	++	-	-+
		Quantidade de água absorvida [ml]	84,85	+	++	+	++	+	++	112,60	-	++	=	++	-	++



Por forma a facilitar a interpretação das tabelas apresentadas anteriormente (Tabela 5.5, Tabela 5.6, Tabela 5.7) encontra-se na Tabela 5.8 uma legenda explicativa das cores e símbolos utilizados na avaliação dos resultados dos ensaios. Na avaliação realizada anteriormente considera-se que os valores da porosidade aberta e do teor de ar, por si só, não traduzem um pior ou melhor comportamento das argamassas, uma vez que estas características influenciam tantas outras que conduzem a comportamentos diferenciados. A explicação da avaliação qualitativa das características das argamassas encontra-se na Tabela 5.9.

Tabela 5.8 – Legenda explicativa da avaliação de resultados.

	Melhoria do comportamento	
	Pioria do comportamento	
	Mantém-se o comportamento ou a variação dos valores, por si só, não permite avaliar a melhoria ou pioria do comportamento	
+	Aumento relativamente à referência	
-	Redução relativamente à referência	
=	Mantém-se relativamente à referência	
++	Aumento relativamente à referência	Aumento relativamente à menor dosagem de fibras
+-		Redução relativamente à menor dosagem de fibras
+=		Mantém-se relativamente à menor dosagem de fibras
++	Redução relativamente à referência	Aumento relativamente à menor dosagem de fibras
+-		Redução relativamente à menor dosagem de fibras
+=		Mantém-se relativamente à menor dosagem de fibras
++	Mantém-se relativamente à referência	Aumento relativamente à menor dosagem de fibras
+-		Redução relativamente à menor dosagem de fibra
+=		Mantém-se relativamente à menor dosagem de fibras

Tabela 5.9 – Avaliação qualitativa do comportamento das argamassas.

Consistência por espalhamento [mm]	+	Durómetro [Shore A]	+	Valor assintótico [kg/m <sup>2</sup> ]	+
Teor em ar [%]	+	Esclerómetro [graus Vickers]	+	Taxa de Secagem [kg/(m <sup>2</sup> .h)]	+
Retenção de água [%]	+	Porosidade aberta [%]	+	Índice de secagem [-]	+
Massa volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	+	Ed [MPa]	+	Δm 25c [%]	+
Ultra-sons [m/s]	+	Rc [MPa]	+		
Coef. Capilaridade [kg/m <sup>2</sup> .min <sup>0.5</sup> ]	+	Rt [MPa]	+		
Ed [MPa]	+	Quantidade de água absorvida [ml]	+		
λ [W/m.K]	+	Coef. Absorção [kg/m <sup>2</sup> .min <sup>0.5</sup> ]	+		

Pela análise das Tabelas (Tabela 5.5, Tabela 5.6 e Tabela 5.7) pode-se concluir que em muitos casos a introdução de fibras naturais não foi benéfico, nomeadamente para as propriedades mecânicas.

Porém, a compacidade aos 28 dias, a condutibilidade térmica, o espalhamento (trabalhabilidade) e a taxa e índice de secagem melhoraram com a introdução das mesmas. Individualmente, a introdução de casca de arroz possibilitou ainda melhorias ao nível da resistência aos sulfatos, coeficiente de capilaridade aos 90 dias e coeficiente de absorção no reboco aplicado no murete de taipa. Por sua vez, as argamassas com crina de cavalo revelaram os melhores resultados ao nível das resistências mecânicas e compacidade, sobretudo aos 90 dias. Por fim, a introdução de lã de ovelha melhorou substancialmente a capacidade de secagem das argamassas, através do aumento da taxa de secagem e diminuição do índice de secagem e melhorou, diminuindo-o, o coeficiente de absorção do reboco de argamassa do murete de taipa.

## 6. Conclusões

### 6.1. Considerações finais

Como se refere no capítulo da introdução, os objectivos fulcrais desta dissertação passam por avaliar a aplicabilidade, a influência do traço e da introdução de fibras naturais em argamassas mistas de cal aérea e terra. Pelos muitos e coerentes resultados obtidos, fruto da vasta campanha experimental, pode-se concluir que se deu um enorme passo na direcção correcta a fim de se preencher a lacuna existente de informação sistematizada sobre a caracterização e comportamento deste género de argamassas. No entanto salienta-se que a investigação deve continuar na tentativa de encontrar melhores soluções e, no mínimo, igualmente sustentáveis, quer seja pela introdução de outro tipo de fibras naturais ou pela redução do seu volume introduzido, ou pela alteração da quantidade de alguns dos outros constituintes, de forma a permitir alterar a microestrutura das argamassas e elevar as suas características a nível superior, quer seja pela determinação das propriedades das argamassas em idades de cura mais avançadas de forma a avaliar mais correctamente a sua durabilidade.

### 6.2. Principais conclusões

De modo a atingir os objectivos propostos, a avaliação da influência do traço e da introdução de fibras naturais em argamassas mistas de cal e terra, foram realizados ensaios de caracterização de argamassas em estado fresco, em estado endurecido individualmente e a argamassas aplicadas sobre tijolo e em sistemas de reboco sobre taipa, em condições de cura definidas e ao longo do tempo. Foram analisadas argamassas com dois teores de cada um de três tipos de fibras naturais. Esses teores foram determinados em massa; em termos volumétricos, as massas utilizadas correspondem a valores significativos, devido à reduzida baridade das fibras utilizadas. Daí que parte dos resultados obtidos possam encontrar justificação no facto das argamassas com maior teor em fibras conterem, num mesmo volume, menor quantidade de pasta, uma vez que maior volume é ocupado pelas fibras. Posto isto, pode-se concluir que deve haver um tecto máximo para as percentagens de fibras estudadas nesta dissertação, e este deve ser o correspondente ao menor valor utilizado para as diferentes fibras utilizadas. Com a introdução de menores dosagens de fibras, as argamassas adquirem as mesmas vantagens sem acentuar tanto as suas desvantagens.

Relativamente ao **estado fresco** é possível concluir que a introdução de fibras naturais aumentou o espalhamento das argamassas e que a sua trabalhabilidade é proporcional ao valor de espalhamento, destacando-se as argamassas com lã de ovelha como as com melhor trabalhabilidade, nomeadamente na aplicação como camada de base no murete de taipa. A retenção de água verificou-se superior nas argamassas de traço 1:2; no entanto esta reduziu-se com a introdução de fibras, o que seria negativo à partida. Contudo os valores mantêm-se muito elevados e acima dos 83% de quantidade de água retida. Como era expectável, a introdução de fibras naturais aumentou o teor de ar e diminuiu a massa volúmica relativamente às argamassas de referência. Relativamente à sua amassadura,

as argamassas com introdução de lã de ovelha revelaram alguma dificuldade na obtenção de uma pasta homogênea, enquanto a introdução de casca de arroz permitiu argamassas mais homogêneas. A crina de cavalo necessitou de ser cortada manualmente e como tal não foi possível manter o comprimento das fibras nas diversas amassaduras realizadas.

Como referido anteriormente, os **provetes prismáticos de argamassa** foram sujeitos a ensaios aos 28, 90 e 180 dias de cura, excepto os ensaios que avaliam as resistências mecânicas e os que se realizam posteriormente sobre os provetes resultantes que apenas se efectuaram para idades mais avançadas (90 e 180 dias). A introdução de fibras naturais revelou grande influência na compacidade das argamassas em estudo, diminuindo-a, especialmente aquando da introdução de fibras vegetais de casca de arroz. Essa diminuição de compacidade verificou-se através do aumento da porosidade aberta e diminuição da velocidade de propagação de ultra-sons e da massa volúmica das argamassas com fibras naturais. Consequentemente o seu comportamento térmico melhorou consideravelmente (diminuição da condutibilidade térmica). Relativamente às propriedades mecânicas das argamassas com fibras, apenas as que contêm fibras vegetais revelaram um comportamento similar em todas essas propriedades, uma vez que a sua introdução se traduziu numa diminuição do módulo de elasticidade dinâmico e das resistências à tracção e compressão. Por seu lado, a introdução de crina de cavalo permitiu manter ou diminuir muito ligeiramente todas as propriedades mecânicas com a excepção de algumas variações, mais significativas aos 90 dias, em resistências à compressão e tracção. A adição de lã de ovelha fez diminuir todas as características mecânicas, à excepção da resistência à compressão e o módulo de elasticidade do traço mais forte com menor dosagem desse tipo de fibra (CL2\_25t(L)\_0,5FALã). O comportamento face à água, avaliado pelo ensaio de absorção de água por capilaridade e secagem, revelou-se variado entre as diferentes argamassa, porém as argamassas com lã de ovelha revelaram melhor facilidade e rapidez de secagem, relativamente a todas as outras argamassas. Como tal pode-se concluir que são estas as argamassas que apresentam o melhor comportamento face à acção da água. As argamassas mais porosas obtiveram maiores valores de coeficiente de capilaridade, revelando maior velocidade de absorção de água por capilaridade inicial. Quanto à resistência aos sulfatos cada tipo de fibra introduzida conduziu a um comportamento diferente por parte das argamassas em estudo. A introdução de crina de cavalo revelou-se desastrosa, com os provetes a “rebentarem” passados poucos ciclos, enquanto as argamassas com fibras vegetais melhoraram o comportamento, perdendo menos massa, e as com lã de ovelha mantiveram o comportamento obtido para a referência.

À semelhança dos provetes prismáticos também os **provetes de argamassa em suporte tijolo** foram ensaiados aos 28, 90 e 180 dias de idade, mas neste tipo de provetes os resultados médios obtidos apresentam um grande desvio padrão, quando comparados com os ensaios homónimos realizados em provetes prismáticos. Os resultados obtidos no ensaio da dureza superficial com o durómetro revelaram-se inconclusivos uma vez que estes foram muito semelhante entre todas as argamassas com a mesma idade. Contudo, o valor da resistência superficial de cada argamassa em estudo aumentou com o passar do tempo, sendo superior em todos os exemplares aos 180 dias. Tal como se

verificou nos provetes prismáticos, também nos provetes em suporte tijolo a compacidade, avaliada pela velocidade de propagação de ultra-sons, revelou-se directamente proporcional à condutibilidade térmica (maior velocidade de propagação de ultra-sons traduz-se em maiores valores de  $\lambda$  e, consequentemente, pior comportamento a nível térmico). A introdução de casca de arroz e de crina de cavalo resultou numa considerável diminuição da condutibilidade térmica das argamassas em questão, enquanto a introdução de lã de ovelha teve o efeito contrário. Relativamente à absorção de água sob baixa pressão, as argamassas de traço base 1:3 revelaram-se mais absorventes que as de traço mais forte em ligante, com os valores de quantidade de água absorvida a aumentar com o avanço do tempo de cura. As argamassas que revelaram o melhor comportamento face à água, ou seja, absorveram menos quantidade de água, foram as de referência e as em que se introduziu lã de ovelha.

No que toca à dureza superficial dos **rebocos de argamassa aplicados no murete de taipa**, esta não apresentou grandes variações; no entanto as zonas superiores apresentaram um ligeiro aumento da dureza superficial relativamente às restantes zonas. Quanto ao comportamento face à absorção de água, as argamassas com lã de ovelha apresentaram mais uma vez os resultados mais satisfatórios, absorvendo menor quantidade de água absorvida em comparação com as argamassas com casca de arroz.

Em suma é possível concluir que a introdução das diferentes fibras naturais estudadas, em argamassas mistas de cal aérea e terra, proporcionou comportamentos muito diferenciados. As fibras de casca de arroz conferiram às argamassas maior porosidade e, consequentemente, melhor comportamento térmico; mas apresentaram também mais resistência aos sulfatos. A introdução de crina de cavalo melhorou mais ligeiramente o comportamento térmico e manteve as características mecânicas das argamassas, sobretudo aos 90 dias, mesmo diminuindo a sua massa volúmica. Por fim, a introdução de lã de ovelha nas argamassas melhorou substancialmente o seu comportamento face à acção da água.

### 6.3. Propostas de desenvolvimento futuro

Com o objectivo de otimizar e ampliar o âmbito dos resultados obtidos na presente dissertação sugerem-se os seguintes estudos futuros:

- Caracterização das argamassas em idades mais avançadas (1 ano, 5 anos);
- Alteração das quantidades dos agregados, nomeadamente introduzindo maior teor de agregados mais finos, de forma a tornar as argamassas menos friáveis e mais resistentes;
- Introdução de outro tipo de fibras naturais que se encontrem disponíveis num mercado próximo e acessível;
- Diversificar as percentagens de fibras introduzidas nas argamassas de cal aérea para valores mais baixos (em massa e subsequentemente em volume) e analisar o seu comportamento perante estes e outros ambientes de cura laboratoriais e naturais;

- Realizar ensaios complementares aos provetes de argamassa, como por exemplo: determinação da permeabilidade ao vapor de água, análise das propriedades acústicas e avaliação do tamanho e distribuição dos poros das argamassas através de um ensaio de porosimetria por introdução de mercúrio;
- Determinação de outras características no reboco de argamassa aplicado no murete de taipa, tais como propriedades mecânicas (aderência e resistência à compressão confinada), condutibilidade térmica, teor de sais, absorção de água por capilaridade e capacidade de secagem – *in situ* ou através de provetes retirados do suporte.

## Bibliografia

- Abraúl, F (2010) – *Arquitectura de terra em Portugal: Viabilidade contemporânea*. Dissertação de Mestrado em Arquitectura, Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto.
- Associação Portuguesa dos Comerciantes de Materiais de Construção (APCMC) (2013) - [http://www.apcmc.pt/servicos/img/analise\\_3\\_trim\\_2013.pdf](http://www.apcmc.pt/servicos/img/analise_3_trim_2013.pdf). (acedido em Fevereiro 2013)
- Apps, C (2011) – *Avaliação da variabilidade da técnica de ensaio do tudo de Karsten na medição da permeabilidade à água líquida em revestimentos de ladrilhos cerâmicos e argamassas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Técnica de Lisboa.
- ASTM (2000) – *Standard test method for rubber property – durometer hardness*. United States. ASTM D2240-00.
- ASTM (2008) – *Standard test method for rebound hammer of hardened concrete*. United States. ASTM C805-08.
- Aymerich, F.; Fenu, L.; Meloni, P. (2012) - *Effect of reinforcing wool fibres on fracture and energy absorption properties*, Construction and Building Materials, Vol. 27, 66–72.
- Bandeira, A. (2012) – “*Caracterização de argamassas de cal aérea e de cal hidráulica natural com metacaulino. Evolução com a idade*.” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Construção, Universidade Nova de Lisboa.
- Brito, V.; Gonçalves, T.; Faria, P. (2011) – *Coatings applied on damp building substrates: performance and influence on moisture transport*. Journal of Coatings Technology and Research, Vol. 8 (4), pp. 513-525.
- Bruno, P.; Faria, P.; Candeias, A.; Mirão, J. (2010) - *Earth mortars from on pre-historic habitat settlements in south Portugal. Case studies*. ADECAP, J. Iberian Archaeology 13, 51-67.
- Cai, Y.; Shi, B.; Charles, N.; Tang, C. (2006) - *Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil*, Engineering and Geology, Vol 27, 230-240.
- Carvalho, J.; Pinto, J.; Varum, J.; Jesus, A.; Lousada, J.; Morais, J. (2008) - *Construções em Tabique na Região de Trás-os-Montes e Alto Douro*, CINPAR 2008 4th International Conference on Structural Defects and Repair (CD-ROM).
- Comité Européen de Normalisation (1998/2006). EN 1015-2:1998/A1:2006 - *Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*. Brussels, CEN.
- CEN (1998a) – EN 1015-2: 1998 – *Methods of test for mortars for masonry. Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*. Brussels.

- CEN (1998b) – EN 1015-6:1998 – *Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. Brussels.
- CEN (1998c) – EN 1015-7:1998 – *Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar*. Brussels.
- CEN (1999a) – EN 1015-3:1999 – *Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels.
- CEN (1999b) – EN 1015-10:1999 - *Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar*. Brussels.
- CEN (1999c) – EN 1015-11: 1999 – *Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels.
- CEN (1999) - prEN 1015-8, draft European Standard, *Methods of test for mortar for masonry – Part 8: Determination of water retentivity of fresh mortar*.
- CEN (2002) – EN 1015-18:2002 – *Methods of test for mortars for masonry. Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. Brussels.
- CEN (2009) – EN 15801 – *Conservation of cultural property. Test methods. Determination of water absorption by capillarity*. Brussels.
- CEN (2010) – EN 998-1 – *Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar*. Brussels.
- Di Bella, G.; Fiore, V.; Galtieri, G.; Borsellino, C.; Valenza, A. (2014) – *Effects of natural fibres re-inforcement in lime plasters (Kenaf and sisal vs. Polypropylene)*, Construction and Building Materials, Vol. 58, 159–165.
- Dias, I. (2013) – *Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra. A influência da terra como agregado parcial*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Construção, Universidade Nova de Lisboa.
- Faria-Rodrigues, P. (1993) - *Revestimentos de impermeabilização de paredes à base de ligantes minerais. Modelação experimental de revestimentos aplicados sobre um suporte*. Dissertação de Mestrado. Lisboa, IST.
- Faria-Rodrigues, P. (2004) – *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil – Reabilitação do Património Edificado, Universidade Nova de Lisboa.
- Faria-Rodrigues, P.; Henriques, F. (2004b) - *Current Mortars in Conservation An Overview*, International Journal for Restoration, Vol. 10, (6), 609-622.



- Faria-Rodrigues, P. (2007) – *Construções em terra crua. Tecnologias, potencialidades e patologias. Fórum Museológico do Distrito de Setúbal e Museu de Arqueologia e Etnografia do Distrito de Setúbal*. Revista MUSA, nº2, p.149-155 (ISSN 1646-0553).
- Faria, P.; Henriques, F.; Rato, V. (2008) - *Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation*, Journal of Cultural Heritage, Vol. 9, 338–346.
- Faria, P. (2011). *PROJECTO FCT METACAL - Procedimentos de ensaio de argamassas*. Departamento Engenharia. Civil, FCT-UNL.
- Faria, P. (2012) – *Argamassas sustentáveis*. II CRSEEL – Conferência de Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono. Caparica, FCT UNL, 26-27 Abril 2012
- Faria, P.; Silva, V.; Dias, I.; Jamú, N.; Santos, P. (2013a) – *Vantagens da utilização de terra argilosa e fibras naturais em argamassas de cal aérea*, 2º CIHEL - Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono, Lisboa, LNEC, (resumo de poster), 363.
- Faria, P.; Jamú, N.; Dias, I.; Silva, V.; Gomes, I. (2013b) – *Evaluation of air lime-clay based mortars for earthen walls*. CIAV2013 – International Conference on Vernacular Architecture, 7º ATP, VerSus. Vila Nova de Cerveira, 16-20 October 2013 (aceite para publicação).
- Faria, P.; Dias, I.; Jamú, N.; Silva, V. (2014a) – *Air lime-earth blended mortars - Assessment on fresh state and workability*. International Conference on Vernacular Heritage, Sustainability and Earthen Architecture, VerSus 2014, 2nd MEDITERRA, 2nd ResTAPIA, Valencia, Spain, 11-13 September (submetido).
- Fernandes, M. (2008) - *Earth mortars and earth-lime renders*, Conservar Património, Vol. 8, 21-27.
- Gameiro, A.; Santos-Silva, A.; Faria, P.; Branco T.; Veiga, R.; Velosa, A. (2014) – *Physical and chemical assessment of lime-metakaolin mortars: influence of binder:aggregate ratio*.
- Ghavammi, K.; Filho, R.; Barbosa, N. (1999) - *Behavior of composite soil reinforced with natural fibres*, Cement and concrete composites, Vol. 21, 39-48.
- Gomes, M.I.; Faria, P.; Gonçalves, T.D. (2009) - *Construções de Terra, Causas de degradações*; In Conf. Internacional PATORREB, FEUP, 205-210.
- Gomes, M.I.; Gonçalves, T.D.; Faria, P. (2012a) – *Análise experimental de argamassas de terra com cais e fibras naturais*, in 4º Congresso de Argamassas e ETICS, Coimbra (CD).
- Gomes, M.I.; Gonçalves, T.; Faria, P. (2012b) – *Avaliação da influencia do teor de água na trabalhabilidade de argamassas de terra*, APUNTES, Vol. 25, Núm.2.
- Gomes, M.I.; Gonçalves, T.; Faria, P. (2012c) - *Earth-based repair mortars Experimental analysis with different binders and natural fibres*, Rammed Earth Conservation, 661-668.
- Grilo, J (2013) – *Caracterização de argamassas de cal hidráulica natural NHL 3.5 de fabrico nacional*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Construção, Universidade Nova de Lisboa.

- Grilo, J.; Faria, P.; Veiga, R.; Santos-Silva, A.; Silva, V.; Velosa, A. (2014) – *New Natural Hydraulic Lime mortars - Physical and microstructural properties in different curing conditions*. Construction and Building Materials, Vol. 54, 378-384.
- Iucolano, F.; Liguori, B.; Colella, C. (2013) – *Fibre-reinforced lime-based mortars: A possible resource for ancient masonry restoration*, Construction and Building Materials, Vol. 38, 785–789.
- Hejazi, S.M.; Sheikhzadeh, M.; Abtahi, S.; Zadhoush, A. (2012) - *A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers*, Construction and Building Materials, Vol. 30, 100–116.
- Henriques, F. (1991) - *A conservação do património histórico edificado*, Memória LNEC nº 775.
- Henriques, F. (1994) – *Humidade em Paredes*. Coleção Edifícios 1. LNEC, 1ª edição, Lisboa.
- Henriques, F. (2000) – UNL/DEC Fe 32 – *Análise de argamassas. Determinação da retenção de água*. Caparica.
- Henriques, F.; Faria-Rodrigues, P. (2006) - *Argamassas de substituição na conservação do património*, Construção Magazine, Vol. 16, 38-45.
- Henriques, F. (2007) – *Comportamento Higrotérmico de Edifícios*. Lisboa, UNL-FCT.
- Henriques, F.; Faria-Rodrigues, P. (2008) – *O papel da investigação no estudo das argamassas de substituição na conservação do património*, Revista Engenharia Civil – Universidade do Minho, Vol. 31, 29-37.
- Houben, H.; Guillaud, H. (2006) – CRATerre, *Traite de Construction en Terre*. Marseille: Editions Parenthèses, 353 p. ISBN 978-2-86364-161-3.
- Jamú, N. (2013) - *Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra: A influência da terra como ligante*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Construção, Universidade Nova de Lisboa.
- Jornal de Negócios (JN) (2014) - [http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/insolencias\\_no\\_sector\\_da\\_construcao\\_diminuiram\\_17\\_em\\_2013.html](http://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/insolencias_no_sector_da_construcao_diminuiram_17_em_2013.html). (acedido em Fevereiro 2014)
- Kennedy, C.; Revie, W.; Troalen, L.; Wade, M.; Wess, T. (2013) – *Studies of hair for use in lime plaster: Implications for conservation and new work*, Polymer Degradation and Stability, Vol. 98, 894–898.
- LNEC (2002) – Ficha de ensaio para revestimentos de paredes – *Ensaio de absorção de água sob baixa pressão*. Lisboa. FE Pa 39.
- LNEC (2010) – Ficha de ensaio para revestimentos de paredes – *Ensaio de avaliação de características mecânicas por ultra-sons*. Lisboa. FE Pa 43.
- Lourenço, P.; Brito, J.; Branco, F. (2001) - *Novas tecnologias na aplicação de terra crua na construção*, Companhia de arquitectura e design, CONSTRUÇÃO 2001 - Congresso Nacional da Construção, 513-550.

- Instituto da Construção e do Imobiliário (INCI) (2013) - [http://www.inci.pt/Portugues/inci/EstudosRelatoriosSectoriais/EstudosRelatorios%20Sectoriais/RelConst\\_2013.pdf](http://www.inci.pt/Portugues/inci/EstudosRelatoriosSectoriais/EstudosRelatorios%20Sectoriais/RelConst_2013.pdf). (acedido em Fevereiro 2014)
- Instituto Nacional de Estatística (INE) (2013) - [http://www.ine.pt/ngt\\_server/attachfileu.jsp?look\\_parentBoui=157291361&att\\_display=n&att\\_download=y](http://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=157291361&att_display=n&att_download=y). (acedido em Fevereiro 2014)
- Instituto Português da Qualidade (IPQ) (2000) – NP EN 1097-3:2000 – *Ensaaios para determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 3: Método para determinação da massa volúmica e dos vazios*. Caparica.
- IPQ (2001) – NP EN 12370:2001- *Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência à cristalização de sais*. Caparica.
- IPQ (2007) – NP EN 14146:2006 – *Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental)*. Caparica.
- IPQ (2008) – NP EN 1936:2008 – *Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta*. Caparica.
- IPQ (2011) – NP EN 459-1: 2011 – *Cal de construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*. Caparica.
- Margalha, M. (2010) – *Ligantes aéreos minerais. Processos de extinção e o factor tempo na sua qualidade*. Lisboa: UTL. Dissertação apresentada ao IST-UTL para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil.
- Margalha, M. (2011) – *Argamassas*, Documento de apoio às aulas de Conservação e Recuperação do Património, Universidade de Évora.
- Margalha, M.; Veiga, R.; Silva, A.S.; de Brito, J. (2011) - *Traditional methods of mortar preparation: The hot lime mix method*, Cement & Concrete Composites, Vol.33(8), pp.796-804.
- Marques, S.; Ribeiro, R.; Silva, L.; Ferreira, V.; Labrincha, J. (2006) – *Study of rehabilitation mortars: Construction of a knowledge correlation matrix*, Cement and Concrete Research, Vol. 36, 1894-1902.
- Mateus, L. (2005) – *Caracterização de revestimentos usados em construções de taipa no barlavento Algarvio*, Dissertação de mestrado integrado em construção, Instituto superior técnico.
- Meteoclimatic (2014) - <http://www.meteoclimatic.com> (Acedido em Abril de 2014).
- Moorehead, D (1986) – *Cementation by the carbonation of hydrated lime*. Elmsford, N.Y.: ACI/Pergamon Press/Elsevier, 1986. Cement and Concrete Research, Vol 16, p. 700-708.
- Pascoal, P. (2012) - *Estudo de Produtos para Conservação de Revestimentos Antigos - Consolidação e Reintegração Cromática*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil – Construção, Universidade Nova de Lisboa.

- Pina dos Santos, C.; Matias, L. (2006) - *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* - ITE 50, LNEC, Lisboa
- Ponte, M. (2012) – *Arquitectura de Terra: o desenho para a durabilidade das construções*, Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Arquitectura, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Prabakara, J.; Sridhar, R.S. (2002) - *Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil*, Construction and Building Materials, Vol. 16, 123–131.
- Rato, V. (2006) – *Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil – Reabilitação do Património Edificado, Universidade Nova de Lisboa.
- RILEM (1980a) – *Water absorption under low pressure. Pipe method. Test n.ºII.4. Recommendations provisoires*. Paris.
- RILEM (1980b) – *Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. Test n.º II.5 – Evaporation curve*. Materials & Structures, Vol. 13, 204-207.
- Silveira, D.; Varum, H.; Costa, A.; Martins, T.; Pereira, H.; Almeida, J. (2012) - *Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions*, Construction and Building Materials, Vol. 28, 36–44.
- Sükrü, Y.; Çavdar, O.; Çavdar, A. (2008) - *The effects of the fiber contents on the mechanic properties of adobes*, Construction and building Materials, Vol. 22, 222-227.
- Torgal, F.; Eires, R.; Jalali, S. (2009) – *A construção em terra*. Guimarães: TecMinho, 179 p. ISBN 978-972-8692-40-7.
- Veiga, R; Faria, P (1990) – *Revestimentos de ligantes minerais e mistos com base em cimento, cal e resina sintética*. In Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes. 1º Módulo. Lisboa, LNEC, Novembro 1990, p. 40-173.
- Veiga, M. R. (2003) – *As argamassas na conservação*. Actas das 1ªs Jornadas de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Colecção Comunicações, COM 103, LNEC, Lisboa.
- Veiga, M. R. (2005) – *Comportamento de revestimentos de fachadas com base em ligante mineral. Exigências funcionais e avaliação do desempenho*. APFAC, Congresso 2005; paper 2020 (CD).
- Veiga, M. R.; Fragata, A.; Velosa, A.; Magalhães, A.; Margalha, G. (2010) - *Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings*, International Journal of Architectural Heritage, Vol. 4, 177–195.

## Anexos

### A.1. Ensaios realizados

Tabela A.1.1 - Ensaios, idade, tipo de provetes por argamassa e total de provetes ensaiados.

	Ensaio	Idade (dias)	Tipo de provete	Nº de provetes por argamassa	Nº de argamassas	Nº total de provetes ensaiados
Estado fresco	Consistência por espalhamento	0	Fresco	2	16	32
	Retenção de água	0	Fresco	2	16	32
	Massa volúmica	0	Fresco	1	12	12
	Teor de Ar	0	Fresco	1	12	12
Estado endurecido	Velocidade de propagação de ultra-sons	28/90/180	Tijolo	1	16	16
	Condutibilidade térmica	28/90/180	Tijolo	1	16	16
	Dureza superficial - Durómetro	28/90/180	Tijolo	1	16	16
	Absorção de água sob baixa pressão	28/90/180	Tijolo	1	16	16
	Massa volúmica aparente	7/28/90/180	Prismas	6	16	96
	Condutibilidade térmica	28/90/180	Prismas	6	16	96
	Velocidade de propagação de ultra-sons	28/90/180	Prismas	6	16	96
	Módulo de elasticidade dinâmico	28/90/180	Prismas	6	16	96
	Resistência à tração por flexão	90/180	Prismas	6	16	96
	Resistência à compressão	90/180	Prismas	6	16	96
	Absorção de água por capilaridade	90/180	Prismas	6	16	96
	Secagem	90/180	Prismas	6	16	96
	Porosidade aberta e Massa volúmica	90/180	Prismas	6	16	96
	Resistência aos sulfatos	90/180	Prismas	6	16	96
	Absorção de água sob baixa pressão	28	Reboco	1	4	4
	Dureza superficial – Esclerómetro	28	Reboco	1	4	4
	Dureza superficial - Durómetro	28	Reboco	1	4	4

## A.2. Valores da caracterização do murete de taipa

Tabela A.2.1 - Condições atmosféricas registadas no dia da caracterização (22/04/13).

Horas	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)
10h	17,5	77%
16h	24,5	43%

Tabela A.2.2 - Temperatura superficial do murete de taipa.

Pontos	Temperatura (°C)				Média	Média <sub>Total</sub>	DP
A	23,9	24,4	24,8	24,4		26,5	1,5
B	27,1	28,2	28,0	27,8			
D	23,8	24,8	25,6	24,7			
E	27,2	28,1	27,9	27,7			
F	27,1	27,3	27,8	27,4			
G	24,4	25,2	24,9	24,8			
H	27,6	28,0	27,5	27,7			
I	25,0	31,0	27,0	27,7			
J	24,0	25,2	25,8	25,0			
K	27,3	28,1	27,2	27,5			

Tabela A.2.3 - Condutibilidade térmica do murete de taipa (W/m.K).

Pontos	$\Lambda$ (W/m.K)	Média <sub>Total</sub>	DP
A	0,743	0,673	0,156
B	0,866		
D	0,406		
E	0,654		
F	0,474		
G	0,616		
H	0,712		
I	0,877		
J	0,589		
K	0,789		

Tabela A.2.4 - Dureza superficial - Esclerómetro (graus Vickers).

Pontos	Dureza Superficial					Média	Média <sub>Total</sub>	DP
A	49	51	52	44	48	49	37,0	8,8
B	37	35	40	45	46	41		
D	35	42	40	42	42	40		
E	35	41	41	41	41	40		
F	30	39	35	35	36	35		
G	28	33	33	28	32	31		
H	40	45	45	45	44	44		
I	25	31	27	27	30	28		
J	20	18	18	21	20	19		
K	45	45	45	44	39	44		

Tabela A.2.5 - Dureza superficial - Durômetro (graus Shore A).

Pontos	Dureza Superficial					Média	Média <sub>Total</sub>	DP
A	71	74	75	64	70	71	64,8	8,4
B	54	51	58	65	67	59		
D	51	61	58	61	61	58	56	4,2
E	51	59	59	59	59	58		
F	44	57	51	51	52	51		
G	48	56	56	48	54	52	54	8,2
H	58	65	65	65	64	64		
I	43	53	46	46	51	48		
J	34	31	31	36	34	33	48,1	21,4
K	65	65	65	64	57	63		

Tabela A.2.6 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten.

Painel	Tempos p/ absorver 4 ml (s)		Média (s)	Média (min)	$C_{abs.4ml}$ [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )]	$C_{abs.5min}$ [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )]
Norte	30	43	36,50	0,61	10,68	20,20
Centro-Norte	60	17	38,50	0,64	10,39	26,11
Centro-Sul	21	42	31,50	0,53	11,49	21,23
Sul	20	830	425,00	7,08	3,13	10,10

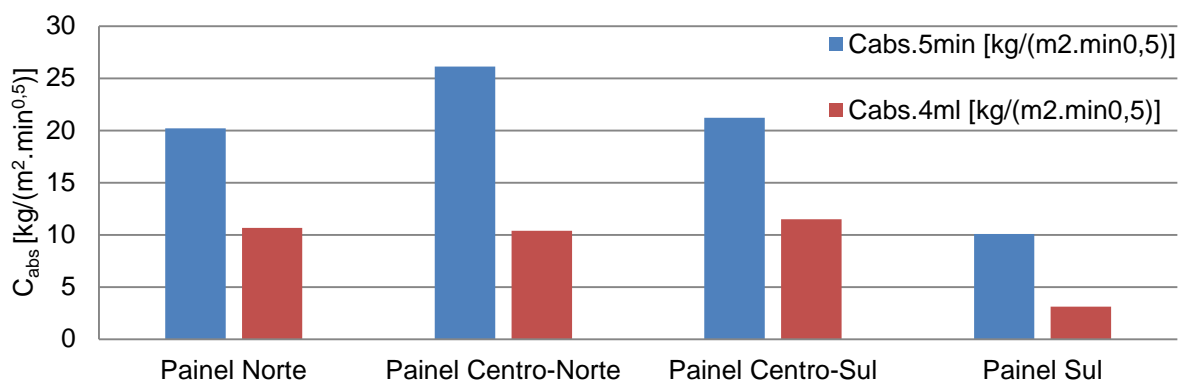


Figura A.2.1 – Coeficientes de absorção aos 5 min e após a absorção de 4ml – Reboco em murete de taipa.

### A.3. Valores da caracterização das argamassas em estado fresco

Tabela A.3.1 - Consistência por espalhamento – Traço 1:2.

Argamassas	Consistência por espalhamento [mm]			
			Média	DP
CL2	140	138	140,3	1,7
	142	141		
CL2_25t(L)	136	132	136,5	3,7
	137	141		
CL2_25t(L)_0,5FV	145	144	142,5	2,6
	142	139		
CL2_25t(L)_FV	145	149	146,3	1,9
	146	145		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	148	147	144,3	4,1
	139	143		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	153	153	147,3	6,7
	142	141		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	153	152	154,8	2,8
	156	158		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	159	161	159,3	1,7
	160	157		

Tabela A.3.2 - Consistência por espalhamento – Traço 1:3.

Argamassas	Consistência por espalhamento [mm]			
			Média	DP
CL3	154	151	150,3	3,3
	150	146		
CL3_10t(ArF)	142	137	141,5	3,1
	144	143		
CL3_10t(ArF)_0,5FV	144	143	143,0	0,8
	143	142		
CL3_10t(ArF)_FV	149	147	145,3	3,5
	144	141		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	153	155	153,3	2,4
	155	150		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	146	150	147,5	1,9
	148	146		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	154	157	154,0	2,9
	150	155		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	163	158	158,5	3,1
	157	156		

Tabela A.3.3 - Teor de ar.

Argamassas	Teor de ar [%]	Argamassas	Teor de ar [%]
CL2	4,2	CL3	4,3
CL2_25t(L)	4,0	CL3_10t(ArF)	4,0
CL2_25t(L)_0,5FV	4,8	CL3_10t(ArF)_0,5FV	4,9
CL2_25t(L)_FV	5,0	CL3_10t(ArF)_FV	4,8
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	-	CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	-
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	-	CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	-
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	4,2	CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	4,0
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	4,0	CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	3,2



Tabela A.3.4 - Retenção de água – Traço 1:2.

Argamassas	ag (g)	mf (g)	mc (g)	mh (g)	ci (g)	ma (g)	Quantidade de Água Retida [%]
CL2	1000	15,938	903,002	21,793	5059,33	65,499	91,1%
CL2_25t(L)	1025	16,008	902,572	21,635	5059,33	66,789	91,6%
CL2_25t(L)_0,5FV	940	16,017	887,527	22,920	4079,46	71,426	90,3%
CL2_25t(L)_FV	1050	16,159	863,341	21,003	4111,46	72,670	93,3%
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	950	16,049	893,099	23,486	4064,96	73,307	89,9%
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	950	15,715	886,930	21,857	4082,46	71,887	91,5%
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	940	16,297	902,143	25,444	4053,46	74,550	87,7%
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	1050	16,205	890,656	29,295	4059,46	79,023	83,4%

Tabela A.3.5 - Retenção de água – Traço 1:3.

Argamassas	ag (g)	mf (g)	mc (g)	mh (g)	ci (g)	ma (g)	Quantidade de Água Retida [%]
CL3	957	16,047	888,235	24,508	4866,62	62,793	86,5%
CL3_10t(ArF)	1000	16,005	900,508	22,673	4866,62	67,226	90,1%
CL3_10t(ArF)_0,5FV	920	16,030	891,833	25,226	3925,29	73,237	87,4%
CL3_10t(ArF)_FV	1030	16,084	880,854	27,615	3957,29	77,392	85,1%
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	930	15,315	893,932	23,181	3910,79	74,505	89,4%
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	930	15,529	900,263	24,123	3928,29	75,449	88,6%
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	920	16,074	897,417	28,189	3899,29	74,698	83,8%
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	1030	16,231	884,162	29,624	3905,29	78,898	83,0%

Legenda:

ci	massa de cada um dos constituintes da argamassa
ma	massa de água utilizada na argamassa colocada no molde
ag	massa de água utilizada na amassadura da argamassa
mc	massa do molde com a argamassa
mv	massa do molde vazio
mh	massa dos 20 papéis de filtro passados 5 minutos
mf	massa dos 20 papéis de filtro

Tabela A.3.6 – Massa Volúmica – Traço 1:2.

Argamassas	Massa <sub>copo</sub> + Argamassa (kg)	massa <sub>copo</sub> (kg)	m <sub>argamassa</sub> (kg)	M <sub>v</sub> (kg/dm <sup>3</sup> )
CL2	3,071	1,123	1,948	1,948
CL2_25t(L)	3,055	1,123	1,932	1,932
CL2_25t(L)_0,5FV	3,017	1,123	1,894	1,894
CL2_25t(L)_FV	2,974	1,123	1,851	1,851
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	-	-	-	-
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	-	-	-	-
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	3,009	1,123	1,886	1,886
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	2,977	1,123	1,853	1,853

Tabela A.3.7 – Massa Volúmica – Traço 1:3.

Argamassas	Massa <sub>copo</sub> + Argamassa (kg)	massa <sub>copo</sub> (kg)	m <sub>argamassa</sub> (kg)	M <sub>v</sub> (kg/dm <sup>3</sup> )
CL3	3,056	1,123	1,933	1,933
CL3_10t(ArF)	3,072	1,123	1,948	1,948
CL3_10t(ArF)_0,5FV	3,006	1,123	1,883	1,883
CL3_10t(ArF)_FV	2,946	1,123	1,823	1,823
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	-	-	-	-
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	-	-	-	-
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	3,009	1,123	1,886	1,886
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	2,968	1,123	1,845	1,845

## A.4. Valores da caracterização das argamassas em estado endurecido aos 28 dias – Provetes prismáticos e em suporte tijolo

### A.4.1. Provetes em suporte tijolo

Tabela A.4.1 1- Dureza superficial – durómetro (Shore A) – Traço 1:2.

Argamassas	Medições										Média	Desvio Padrão
CL2	70	45	70,5	41	44	90	77	38	62	82	62,0	18,8
CL2_25t(L)	75	80	65	60	85	82	76	55	66	72	71,6	9,9
CL2_25t(L)_0,5FV	82	60	68	80	45	66	57	71	77	58	66,4	11,7
CL2_25t(L)_FV	61	70	50	62	79	52	65	76	75	49	63,9	11,1
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	70	67	64	83	74	50	66	64	74	85	69,7	10,1
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	50	40	47	50	40	75	50	45	59	70	52,6	11,9
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	76	70	88	82	65	76	55	64	70	83	72,9	10,1
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	88	72	73	69	51	82	78	69	47	78	70,7	12,9

Tabela A.4.1 2 - Dureza superficial – durómetro (Shore A) – Traço 1:3.

Argamassas	Medições										Média	Desvio Padrão
CL3	85	70	76	90	60	82	65	50	65	73	71,60	12,19
CL3_10t(ArF)	66	52	60	79	68	65	75	50	54	55	62,40	9,88
CL3_10t(ArF)_0,5FV	50	20	35	55	83	65	75	50	54	55	54,20	18,12
CL3_10t(ArF)_FV	43	65	49	50	70	49	72	62	64	70	59,40	10,63
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	64	73	70	45	87	77	84	85	60	74	71,90	12,95
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	63	81	57	83	61	50	76	45	77	69	66,20	13,15
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	88	81	78	76	75	72	65	66	49	60	71,00	11,28
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	76	85	64	49	85	78	90	88	75	77	76,70	12,37

Tabela A.4.1 3 – Condutibilidade térmica – Traço 1:2.

Argamassas	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	Média	Desvio Padrão
CL2	0,451	0,374	0,418	0,469	0,474	0,444	0,438	0,037
CL2_25t(L)	0,563	0,520	0,652	0,662	0,640	0,634	0,612	0,057
CL2_25t(L)_0,5FV	0,332	0,300	0,339	0,325	0,255	0,324	0,313	0,031
CL2_25t(L)_FV	0,328	0,288	0,299	0,344	0,326	0,302	0,315	0,021
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,500	0,481	0,319	0,401	0,306	0,423	0,405	0,080
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	0,239	0,250	0,368	0,393	0,299	0,312	0,310	0,062
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,608	0,469	0,581	0,417	0,528	0,475	0,513	0,073
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	0,656	0,579	0,510	0,500	0,402	0,482	0,522	0,087

Tabela A.4.1 4 - Condutibilidade térmica – Traço 1:3.

Argamassas	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	Média	Desvio Padrão
CL3	0,416	0,405	0,485	0,548	0,472	0,524	0,475	0,057
CL3_10t(ArF)	0,335	0,390	0,544	0,423	0,507	0,446	0,441	0,076
CL3_10t(ArF)_0,5FV	0,385	0,416	0,304	0,452	0,335	0,430	0,387	0,057
CL3_10t(ArF)_FV	0,335	0,345	0,302	0,275	0,438	0,333	0,338	0,055
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,500	0,374	0,396	0,478	0,365	0,279	0,399	0,081
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	0,220	0,210	0,270	0,307	0,391	0,356	0,292	0,073
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,638	0,609	0,613	0,490	0,586	0,464	0,567	0,072
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	0,529	0,460	0,563	0,577	0,505	0,599	0,539	0,051



Tabela A.4.1 5 - Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:2.

Argamas- sas	AB		AC		AD		AE		AF		FB		FC		FD		FE		Média <sub>ve-</sub> locidade (m/s)	DP
	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)		
CL2	1,15 E-04	858,28	1,80 E-04	1090,71	1,22 E-04	881,41	1,73 E-04	850,40	2,23 E-04	1003,73	1,68 E-04	871,14	1,29 E-04	860,79	1,70 E-04	1165,43	1,19 E-04	824,39	<b>934,03</b>	<b>122,37</b>
CL2_25t(L) )	9,85 E-05	999,97	1,45 E-04	1353,28	1,25 E-04	857,20	1,39 E-04	1061,47	2,36 E-04	947,67	1,63 E-04	898,28	1,32 E-04	839,92	1,52 E-04	1305,06	9,86 E-05	994,90	<b>1028,64</b>	<b>184,86</b>
CL2_25t(L) )_0,5FV	1,04 E-04	951,37	1,48 E-04	1320,46	1,01 E-04	1061,24	1,36 E-04	1085,49	1,64 E-04	1363,21	1,35 E-04	1080,55	1,17 E-04	946,26	1,47 E-04	1344,97	1,04 E-04	947,51	<b>1122,34</b>	<b>174,81</b>
CL2_25t(L) )_FV	9,85 E-05	999,97	1,43 E-04	1373,19	1,26 E-04	851,52	1,36 E-04	1079,65	2,38 E-04	940,10	1,37 E-04	1066,35	1,18 E-04	940,64	1,67 E-04	1182,14	1,02 E-04	964,58	<b>1044,24</b>	<b>156,52</b>
CL2_25t(L) )_0,5FA <sub>crina</sub>	1,02 E-04	966,30	1,62 E-04	1213,62	1,26 E-04	851,52	1,35 E-04	1088,43	1,92 E-04	1162,49	1,49 E-04	979,37	1,36 E-04	815,02	1,93 E-04	1026,40	1,04 E-04	943,86	<b>1005,22</b>	<b>132,89</b>
CL2_25t(L) )_FA <sub>crina</sub>	1,01 E-04	980,40	1,65 E-04	1188,36	1,18 E-04	907,79	1,38 E-04	1065,31	1,93 E-04	1159,47	1,39 E-04	1052,27	1,24 E-04	896,28	1,63 E-04	1214,79	1,07 E-04	917,39	<b>1042,45</b>	<b>124,65</b>
CL2_25t(L) )_0,5FA <sub>Lā</sub>	7,22 E-05	1365,31	1,52 E-04	1290,61	1,01 E-04	1057,05	1,10 E-04	1339,48	1,77 E-04	1263,98	1,09 E-04	1337,00	1,06 E-04	1046,93	1,32 E-04	1496,52	6,91 E-05	1419,43	<b>1290,70</b>	<b>151,56</b>
CL2_25t(L) )_FA <sub>Lā</sub>	9,55 E-05	1031,73	1,65 E-04	1187,64	8,52 E-05	1258,12	1,41 E-04	1041,19	2,16 E-04	1035,84	1,38 E-04	1057,86	8,18 E-05	1355,93	1,23 E-04	1606,68	7,20 E-05	1362,29	<b>1215,25</b>	<b>199,43</b>

Tabela A.4.1 6 - Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:3.

Argamas- sas	AB		AC		AD		AE		AF		FB		FC		FD		FE		Médi- a <sub>veloci- dade</sub> (m/s)	DP
	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)		
CL3	9,82 E-05	1003,36	1,59 E-04	1230,38	1,14 E-04	943,50	1,38 E-04	1064,80	2,15 E-04	1037,92	1,43 E-04	1024,47	1,29 E-04	861,01	1,44 E-04	1370,75	1,00 E-04	978,36	<b>1057,17</b>	<b>154,25</b>
CL3_10t(Ar F)	1,02 E-04	968,83	1,57 E-04	1251,60	1,12 E-04	956,13	1,30 E-04	1131,98	2,15 E-04	1040,34	1,41 E-04	1033,17	1,39 E-04	796,10	1,62 E-04	1222,30	1,06 E-04	926,92	<b>1036,37</b>	<b>146,10</b>
CL3_10t(Ar F)_0,5FV	1,05 E-04	941,07	1,43 E-04	1367,76	9,93 E-05	1078,69	1,31 E-04	1126,21	1,75 E-04	1275,77	1,36 E-04	1073,66	1,06 E-04	1045,94	1,44 E-04	1373,28	9,33 E-05	1051,39	<b>1148,20</b>	<b>153,60</b>
CL3_10t(Ar F)_FV	1,05 E-04	937,79	1,71 E-04	1145,98	1,24 E-04	867,14	1,33 E-04	1109,50	1,81 E-04	1232,15	1,39 E-04	1049,25	1,23 E-04	900,65	1,52 E-04	1305,34	1,05 E-04	933,39	<b>1053,46</b>	<b>155,30</b>
CL3_10t(Ar F)_0,5FA <sub>crina</sub>	9,81 E-05	1004,38	1,44 E-04	1364,27	1,06 E-04	1015,32	1,20 E-04	1230,79	1,75 E-04	1276,01	1,28 E-04	1141,92	1,16 E-04	959,91	1,42 E-04	1397,20	8,06 E-05	1216,99	<b>1178,53</b>	<b>158,95</b>
CL3_10t(Ar F)_FA <sub>crina</sub>	1,00 E-04	982,68	1,57 E-04	1248,67	1,14 E-04	941,84	1,40 E-04	1051,86	1,92 E-04	1166,33	1,39 E-04	1050,50	1,13 E-04	985,51	1,64 E-04	1209,10	1,07 E-04	920,83	<b>1061,93</b>	<b>119,43</b>
CL3_10t(Ar F)_0,5FA <sub>Lā</sub>	7,57 E-05	1302,16	1,36 E-04	1440,47	9,29 E-05	1153,39	1,27 E-04	1159,64	1,89 E-04	1183,00	1,28 E-04	1144,31	1,02 E-04	1091,24	1,31 E-04	1509,07	7,66 E-05	1280,51	<b>1251,53</b>	<b>143,78</b>
CL3_10t(Ar F)_FA <sub>Lā</sub>	7,92 E-05	1244,07	1,20 E-04	1629,26	9,15 E-05	1171,04	1,15 E-04	1280,42	1,72 E-04	1299,26	1,11 E-04	1311,40	1,06 E-04	1050,90	1,58 E-04	1253,26	9,76 E-05	1005,77	<b>1249,49</b>	<b>179,07</b>

Tabela A.4.1 7 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:2.

Tempo (minutos)	CL2					CL2_25t(L)					CL2_25t(L)_0,5FV					CL2_25t(L)_FV				
	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
5	12,00	9,80	19,90	13,90	4,34	11,20	18,60	14,30	14,70	3,03	20,00	18,10	22,00	19,05	0,95	27,00	29,70	23,80	26,83	2,41
10	20,50	21,70	27,50	23,23	3,06	23,00	32,10	24,40	26,50	4,00	27,20	32,90	33,10	30,05	2,85	37,20	39,50	35,80	37,50	1,53
15	28,20	30,30	37,30	31,93	3,89	-	41,90	32,90	37,40	4,50	39,20	41,70	48,60	40,45	1,25	44,80	47,20	42,60	44,87	1,88
30	48,20	38,80	58,40	48,47	8,00	-	63,40	47,80	55,60	7,80	52,50	59,70	-	56,10	3,60	63,50	64,80	71,10	66,47	3,32
60	71,70	57,00	83,30	70,67	10,76	-	95,10	74,30	84,70	10,40	73,20	88,40	-	80,80	7,60	94,90	89,30	179,80	92,10	41,41
<b>C<sub>abs</sub>[kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>0,5</sup>)]</b>	<b>19,27</b>	<b>15,32</b>	<b>22,39</b>	<b>18,99</b>	<b>3,54</b>		<b>25,56</b>	<b>19,97</b>	<b>22,76</b>	<b>3,95</b>	<b>19,67</b>	<b>23,76</b>		<b>21,71</b>	<b>2,89</b>	<b>25,50</b>	<b>24,00</b>		<b>24,75</b>	<b>1,06</b>

Tabela A.4.1 8 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:2.

Tempo (minutos)	CL2_25t(L)_0,5FAcrina					CL2_25t(L)_FAcrina					CL2_25t(L)_0,5FALã					CL2_25t(L)_FALã				
	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
5	21,10	18,30	17,50	18,97	1,54	26,60	34,00	23,20	27,93	4,51	20,00	20,00	23,90	21,30	1,84	25,80	30,90	20,60	25,77	4,21
10	33,00	29,30	26,10	29,47	2,82	42,50	49,20	36,10	42,60	5,35	34,90	34,50	38,70	36,03	1,89	39,00	46,00	31,90	38,97	5,76
15	-	40,20	37,90	39,05	1,15	55,60	62,40	44,80	54,27	7,25	46,30	45,20	49,60	47,03	1,87	47,90	58,10	43,40	49,80	6,15
30	-	62,60	61,50	62,05	0,55	80,20	88,40	64,90	77,83	9,74	67,20	66,50	67,60	67,10	0,45	65,90	78,00	62,00	68,63	6,81
60	-	95,60	97,40	96,50	0,90	116,50	130,30	98,00	114,93	13,23	90,60	91,40	91,40	91,13	0,38	87,90	109,40	83,40	93,57	11,35
<b>C<sub>abs</sub>[kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>0,5</sup>)]</b>		<b>25,69</b>	<b>26,17</b>	<b>25,93</b>	<b>0,34</b>	<b>31,31</b>	<b>35,02</b>	<b>26,34</b>	<b>30,89</b>	<b>4,36</b>	<b>24,35</b>	<b>24,56</b>	<b>24,56</b>	<b>24,49</b>	<b>0,12</b>	<b>23,62</b>	<b>29,40</b>	<b>22,41</b>	<b>25,14</b>	<b>3,73</b>

Tabela A.4.1 9 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:3.

Tempo (minutos)	CL3					CL3_10t(ArF)					CL3_10t(ArF)_0,5FV					CL3_10t(ArF)_FV				
	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
5	17,00	21,60	21,80	19,30	2,30	24,00	29,40	Estava a pingar pela plasticina	26,70	2,70	26,70	52,00	25,0	25,85	12,35	31,10	26,50	25,20	27,60	2,53
10	25,20	30,60	31,20	27,90	2,70	34,80	41,20		38,00	3,20	40,00	78,70	40,6	40,30	18,10	40,40	36,90	35,40	37,57	2,09
15	31,50	38,20	39,80	34,85	3,35	44,40	52,70		48,55	4,15	49,40	102,70	55,6	52,50	23,80	44,90	45,10	43,90	44,63	0,52
30	48,00	57,80	64,40	52,90	4,90	62,50	77,00		69,75	7,25	69,90	159,40	90,5	80,20	38,27	63,80	59,00	60,90	61,23	1,97
60	71,80	87,50	143,40	79,65	7,85	83,50	111,60		97,55	14,05	95,50	286,40	150,0	122,75	80,29	-	83,60	90,90	87,25	3,65
$C_{abs}[kg/(m^2 \cdot min^{0,5})]$	19,30	23,51	-	21,40	2,98	22,44	29,99	-	26,22	5,34	25,66	-	40,31	32,99	10,36	-	22,47	24,43	23,45	1,39

Tabela A.4.1 10 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:3.

Tempo (minutos)	CL3_10t(ArF)_0,5FAcrina					CL3_10t(ArF)_FAcrina					CL3_10t(ArF)_0,5FALã					CL3_10t(ArF)_FALã				
	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
5	29,10	30,60	26,00	28,30	2,30	32,00	36,10	31,50	33,20	2,06	14,20	25,50	18,10	19,27	4,69	29,00	28,60	30,80	29,47	0,96
10	47,60	49,40	39,80	44,60	4,80	51,00	56,20	50,40	52,53	2,60	27,50	39,30	29,30	32,03	5,19	46,30	46,70	47,30	46,77	0,41
15	73,10	64,90	49,10	57,00	7,90	64,80	73,60	66,10	68,17	3,88	37,60	50,00	39,90	42,50	5,39	59,80	61,40	58,90	60,03	1,03
30	-	101,40	77,30	89,35	12,05	93,10	115,80	101,00	103,30	9,41	58,70	69,10	58,50	62,10	4,95	86,10	91,80	87,30	88,40	2,45
60	-	154,00	117,00	135,50	18,50	135,90	177,60	152,80	155,43	17,13	86,20	97,00	80,30	87,83	6,91	117,00	131,10	123,00	123,70	5,78
$C_{abs}[kg/(m^2 \cdot min^{0,5})]$		41,39	31,44	36,41	4,97	36,52	47,73	41,06	41,77	5,64	23,17	26,07	21,58	23,60		31,44	35,23	33,05	33,24	1,90





Tabela A.4.1 11 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:2.

Tempo p/ absorver 4 ml								
Argamassas	Segundos			Média (s)	Média (min)	DP	C <sub>abs.4ml</sub>	DP
CL2	65	40	35	46,67	0,78	16,07	9,44	0,76
CL2_25t(L)	12	27	40	26,33	0,44	14,01	12,57	2,18
CL2_25t(L)_0,5FV	13	12	25	16,67	0,28	7,23	15,80	1,56
CL2_25t(L)_FV	9	12	5	8,67	0,14	3,51	21,91	2,64
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	22	27	37	28,67	0,48	7,64	12,05	0,79
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	17	16	20	17,67	0,29	2,08	15,34	0,44
CL2_25t(L)_0,5FAL <sub>ã</sub>	15	18	16	16,33	0,27	1,53	15,96	0,37
CL2_25t(L)_FAL <sub>ã</sub>	11	14	10	11,67	0,19	2,08	18,88	0,81

Tabela A.4.1 12 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:3.

Tempo p/ absorver 4 ml								
Argamassas	Segundos			Média (s)	Média (min)	DP	C <sub>abs.4ml</sub>	DP
CL3	22	15	17	18,00	0,30	3,61	15,20	0,74
CL3_10t(ArF)	17	8	22	15,67	0,26	7,09	16,29	2,39
CL3_10t(ArF)_0,5FV	10	3	19	10,67	0,18	8,02	19,75	5,84
CL3_10t(ArF)_FV	6	5	15	8,67	0,14	5,51	21,91	3,22
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	15	17	12	14,67	0,24	2,52	16,84	0,76
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	15	12	6	11,00	0,18	4,58	19,45	2,56
CL3_10t(ArF)_0,5FAL <sub>ã</sub>	10	11	9	10,00	0,17	1,00	20,40	0,51
CL3_10t(ArF)_FAL <sub>ã</sub>	9	13	12	11,33	0,19	2,08	19,16	0,95

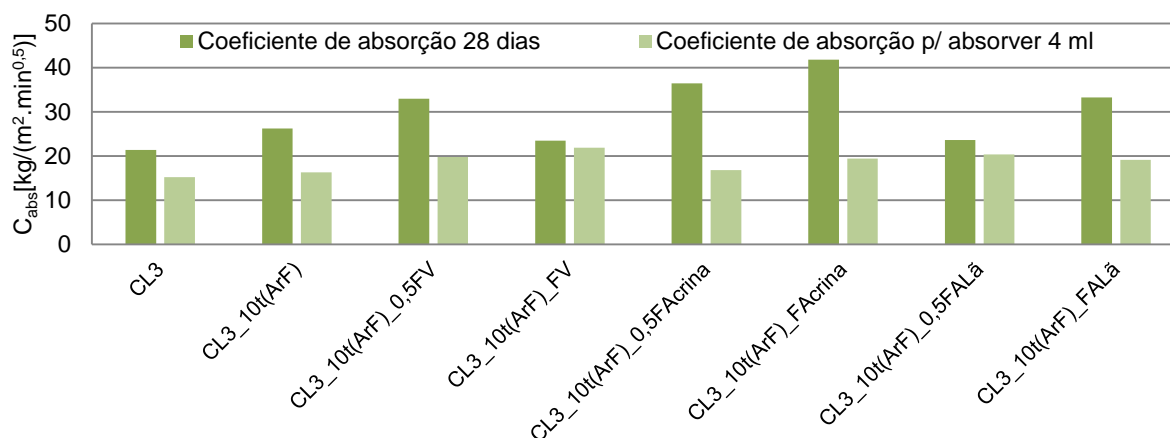


Figura A.4 1 - Coeficientes de absorção aos 60 min e após a absorção de 4ml – traço 1:3.

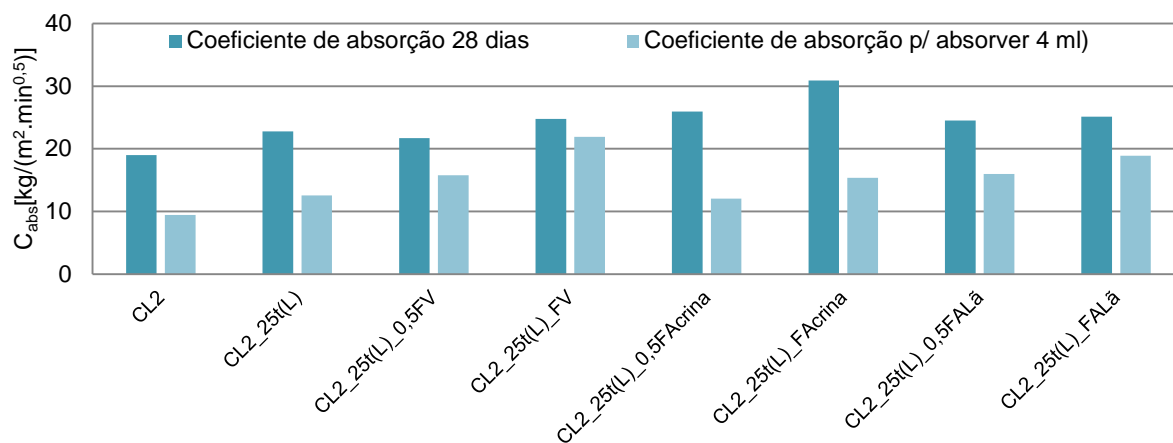


Figura A.4.2 - Coeficientes de absorção aos 60 min e após a absorção de 4ml – Traço1:2.

## A.4.2. Provetes prismáticos

Tabela A.4.2 1 - Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:2.

Argamassas	Massa [g]	Ed [MPa]	Média <sub>provete</sub>	Média	DP
CL2_25t(L)_FV	394,802	1726	1590,8	1507,3	122,5
		1478			
		1469			
		1690			
	393,633	1558	1552,3		
		1603			
		1512			
		1536			
	392,73	1358	1379,0		
		1416			
		1347			
		1395			
CL2_25t(L)_0,5FV	415,219	1798	1806,250	1669,6	109,0
		1806			
		1812			
		1809			
	414,121	1681	1619,750		
		1679			
		1541			
		1578			
	413,013	1571	1582,750		
		1590			
		1570			
		1600			
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	414,949	2151	2134,000	2243,0	86,7
		2149			
		2110			
		2126			
	414,156	2245	2265,000		
		2274			
		2260			
		2281			
	416,823	2349	2330,000		
		2314			
		2313			
		2344			
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	425,605	2230	2260,000	2186,6	62,4
		2238			
		2285			
		2287			
	422,494	2144	2121,250		
		2108			
		2126			
		2107			
	425,824	2178	2178,500		
		2190			
		2168			
		2178			

Tabela A.4.2 2 - Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:2.

Argamassas	Massa [g]	Ed [MPa]	Média <sub>provete</sub>	Média	DP
CL2	439,15	1782	1861,000	1971,3	112,1
		1960			
		1858			
		1844			
	438,518	2110	2084,500		
		2129			
		1966			
		2133			
	434,626	1938	1968,250		
		1945			
		2003			
		1987			
CL2_25t(L)	423,723	2288	2271,250	2288,2	32,0
		2282			
		2244			
		2271			
	423,629	2343	2320,500		
		2355			
		2291			
		2293			
	426,253	2273	2272,750		
		2291			
		2267			
		2260			
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	424,450	2153	2127,750	2236,1	104,1
		2107			
		2118			
		2133			
	421,560	2456	2272,500		
		2203			
		2211			
		2220			
	425,770	2301	2308,000		
		2305			
		2317			
		2309			
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	403,009	1954	1952,250	1923,3	40,3
		1977			
		1962			
		1916			
	396,977	1871	1872,500		
		1870			
		1871			
		1878			
	399,635	1941	1945,000		
		1943			
		1937			
		1959			

Tabela A.4.2 3 - Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:3.

Argamassas	Massa [g]	Ed [MPa]	Média	Média	DP
CL3_10t(ArF)_FV	396,014	1339	1349,8	1409,8	69,6
		1360			
		1320			
		1380			
	305,709	1431	1486,5		
		1537			
		1470			
		1508			
	392,004	1416	1393,0		
		1430			
		1330			
		1396			
CL3_10t(ArF)_0,5FV	414,003	1919	1862,000	1784,7	95,3
		1926			
		1806			
		1797			
	413,099	1745	1686,750		
		1761			
		1614			
		1627			
	411,666	1765	1805,250		
		1791			
		1824			
		1841			
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	413,302	2110	2126,250	2096,3	60,7
		2119			
		2147			
		2129			
	411,545	2122	2135,000		
		2194			
		2119			
		2105			
	409,295	1967	2027,750		
		2072			
		2056			
		2016			
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	419,6	2151	2050,250	2071,1	82,2
		2075			
		1832			
		2143			
	417,672	2102	2072,750		
		2096			
		2050			
		2043			
	413,713	2115	2090,250		
		2092			
		2089			
		2065			

Tabela A.4.2 4 - Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:3.

Argamassas	Massa [g]	Ed [MPa]	Média <sub>provete</sub>	Média	DP
CL3	435,902	1519	1396,500	2135,3	555,4
		1280			
		1371			
		1416			
	430,439	2392	2402,000		
		2416			
		2402			
		2398			
	437,684	2576	2607,500		
		2582			
		2641			
		2631			
CL3_10t(ArF)	431,608	2185	2171,000	2095,6	70,4
		2110			
		2201			
		2188			
	425,896	2064	2061,500		
		2035			
		2103			
		2044			
	424,354	2083	2054,250		
		2081			
		1958			
		2095			
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	408,920	1948	1921,500	2020,3	82,3
		1904			
		1904			
		1930			
	412,596	2032	2027,500		
		2035			
		2018			
		2025			
	410,448	2113	2112,000		
		2110			
		2111			
		2114			
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	406,577	1920	1868,750	1923,3	77,0
		1841			
		1856			
		1858			
	405,369	1906	1883,500		
		1898			
		1814			
		1916			
	407,966	1988	2017,500		
		2024			
		2024			
		2034			

Tabela A.4.2 5 – Condutibilidade térmica.

Argamassas	$\lambda$ (W/m.K)	$\lambda_{\text{média}}$ (W/m.K)	DP	Argamassas	$\lambda$ (W/m.K)	$\lambda_{\text{média}}$ (W/m.K)	DP
CL2_25t(L)_FV	0,579	0,539	0,037	CL3_10t(ArF)_FV	0,530	0,550	0,018
	0,507				0,560		
	0,532				0,561		
CL2_25t(L)_0,5FV	0,580	0,574	0,007	CL3_10t(ArF)_0,5FV	0,599	0,606	0,015
	0,567				0,623		
	0,574				0,596		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	0,636	0,625	0,031	CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	0,688	0,645	0,037
	0,590				0,621		
	0,650				0,627		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,643	0,631	0,018	CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,607	0,600	0,011
	0,610				0,587		
	0,640				0,605		
CL2	0,680	0,708	0,025	CL3	0,726	0,736	0,034
	0,728				0,708		
	0,715				0,774		
CL2_25t(L)	0,673	0,615	0,082	CL3_10t(ArF)	0,722	0,698	0,050
	0,651				0,641		
	0,522				0,731		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	0,555	0,558	0,030	CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	0,527	0,560	0,038
	0,589				0,553		
	0,530				0,601		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,629	0,659	0,027	CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,618	0,630	0,015
	0,667				0,647		
	0,681				0,625		





Tabela A.4.2 6 - Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:2.

Argamassas	v (km/s)	t (μs)	t (s)	v	m (kg)	L (mm)	V(m <sup>3</sup> )	a(mm)	b(mm)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	Ed (MPa)	Ed <sub>média</sub> (MPa)	Desv.Pad
CL2_25t(L)_FV	<b>0,879</b>	181,5	1,82E-04	0,20	0,395	159,54	2,51E-04	39,74	39,55	1574,47	<b>1094,87</b>	<b>1065,08</b>	26,70
	<b>0,866</b>	184,5	1,85E-04		0,394	159,71	2,51E-04	39,79	39,52	1567,36	<b>1057,02</b>		
	<b>0,865</b>	184,7	1,85E-04		0,393	159,71	2,53E-04	39,79	39,86	1550,42	<b>1043,33</b>		
CL2_25t(L)_0,5FV	<b>0,882</b>	182,4	1,82E-04		0,415	160,82	2,58E-04	39,90	40,21	1609,27	<b>1125,91</b>	<b>1141,62</b>	30,49
	<b>0,881</b>	182,0	1,82E-04		0,414	160,41	2,58E-04	39,96	40,25	1605,11	<b>1122,19</b>		
	<b>0,909</b>	176,6	1,77E-04		0,413	160,57	2,61E-04	39,87	40,79	1581,61	<b>1176,76</b>		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	<b>0,945</b>	168,8	1,69E-04		0,415	159,50	2,51E-04	39,98	39,40	1651,56	<b>1327,13</b>	<b>1310,24</b>	34,45
	<b>0,927</b>	171,9	1,72E-04		0,414	159,40	2,52E-04	39,80	39,76	1641,90	<b>1270,61</b>		
	<b>0,948</b>	168,1	1,68E-04		0,417	159,41	2,53E-04	39,84	39,85	1646,98	<b>1332,99</b>		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	<b>0,915</b>	176,9	1,77E-04		0,426	161,88	2,59E-04	39,76	40,17	1646,13	<b>1240,62</b>	<b>1295,12</b>	47,35
	<b>0,939</b>	172,9	1,73E-04		0,422	162,33	2,54E-04	39,63	39,51	1662,23	<b>1318,68</b>		
	<b>0,947</b>	172,0	1,72E-04		0,426	162,80	2,59E-04	39,73	40,03	1644,64	<b>1326,07</b>		
CL2	<b>1,112</b>	143,8	1,44E-04		0,451	159,86	2,64E-04	39,89	41,36	1711,87	<b>1904,03</b>	<b>1979,89</b>	67,54
	<b>1,146</b>	139,7	1,40E-04		0,450	160,09	2,66E-04	40,09	41,40	1694,02	<b>2002,15</b>		
	<b>1,160</b>	138,4	1,38E-04		0,437	160,50	2,60E-04	39,63	40,89	1680,05	<b>2033,50</b>		
CL2_25t(L)	<b>1,167</b>	136,7	1,37E-04		0,427	159,54	2,53E-04	40,03	39,55	1691,71	<b>2073,82</b>	<b>2107,91</b>	70,29
	<b>1,199</b>	133,1	1,33E-04		0,424	159,58	2,51E-04	39,89	39,41	1691,80	<b>2188,74</b>		
	<b>1,161</b>	137,5	1,38E-04		0,425	159,68	2,51E-04	39,80	39,42	1698,14	<b>2061,16</b>		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	<b>1,138</b>	140,0	1,40E-04		0,403	159,33	2,55E-04	39,79	40,17	1582,49	<b>1844,69</b>	<b>1878,32</b>	98,85
	<b>1,126</b>	141,8	1,42E-04		0,397	159,64	2,51E-04	39,76	39,62	1578,57	<b>1800,68</b>		
	<b>1,176</b>	136,0	1,36E-04		0,400	160,00	2,50E-04	39,47	39,62	1597,21	<b>1989,60</b>		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	<b>1,210</b>	131,8	1,32E-04		0,424	159,53	2,60E-04	39,77	40,92	1634,91	<b>2155,71</b>	<b>2144,07</b>	26,06
	<b>1,181</b>	135,4	1,35E-04		0,422	159,94	2,50E-04	39,43	39,71	1683,57	<b>2114,22</b>		
	<b>1,211</b>	132,3	1,32E-04		0,426	160,21	2,60E-04	39,52	41,05	1638,36	<b>2162,28</b>		

Tabela A.4.2 7 - Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:3.

Argamassas	v (km/s)	t (μs)	t (s)	v	m (kg)	L (mm)	V(m <sup>3</sup> )	a(mm)	b(mm)	P (kg/m <sup>3</sup> )	Ed (MPa)	Ed <sub>média</sub> (MPa)	Desv.Pad
CL3_10t(ArF)_FV	0,855	186,5	1,87E-04	0,20	0,395	159,54	2,51E-04	39,74	39,55	1574,47	1036,95	1034,54	4,86
	0,854	187,0	1,87E-04		0,394	159,71	2,51E-04	39,79	39,52	1567,36	1028,94		
	0,862	185,2	1,85E-04		0,393	159,71	2,53E-04	39,79	39,86	1550,42	1037,71		
CL3_10t(ArF)_0,5FV	0,891	180,5	1,81E-04		0,415	160,82	2,58E-04	39,90	40,21	1609,27	1149,74	1153,04	5,03
	0,896	179,1	1,79E-04		0,414	160,41	2,58E-04	39,96	40,25	1605,11	1158,83		
	0,899	178,6	1,79E-04		0,413	160,57	2,61E-04	39,87	40,79	1581,61	1150,56		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	1,206	132,3	1,32E-04		0,415	159,50	2,51E-04	39,98	39,40	1651,56	2160,43	2165,61	10,68
	1,214	131,3	1,31E-04		0,414	159,40	2,52E-04	39,80	39,76	1641,90	2177,89		
	1,207	132,1	1,32E-04		0,417	159,41	2,53E-04	39,84	39,85	1646,98	2158,52		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	1,205	134,3	1,34E-04		0,426	161,88	2,59E-04	39,76	40,17	1646,13	2152,50	2148,47	61,46
	1,181	137,5	1,38E-04		0,422	162,33	2,54E-04	39,63	39,51	1662,23	2085,09		
	1,221	133,3	1,33E-04		0,426	162,80	2,59E-04	39,73	40,03	1644,64	2207,81		
CL3	1,204	131,3	1,31E-04		0,436	158,15	2,57E-04	39,87	40,81	1693,97	2211,86	2262,13	68,78
	1,247	128,4	1,28E-04		0,430	160,12	2,57E-04	39,81	40,38	1672,27	2340,51		
	1,214	131,7	1,32E-04		0,438	159,83	2,60E-04	40,02	40,60	1685,39	2234,02		
CL3_10t(ArF)	1,154	138,7	1,39E-04		0,432	160,00	2,59E-04	39,92	40,60	1664,38	1993,35	2020,62	83,96
	1,183	135,0	1,35E-04		0,426	159,68	2,54E-04	39,92	39,78	1679,57	2114,82		
	1,151	138,7	1,39E-04		0,424	159,68	2,59E-04	39,76	40,81	1637,81	1953,69		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	1,148	139,7	1,40E-04		0,407	160,32	2,54E-04	39,76	39,86	1600,39	1896,93	1933,00	31,71
	1,166	137,5	1,38E-04		0,405	160,29	2,55E-04	39,86	39,89	1590,73	1945,57		
	1,160	138,0	1,38E-04		0,408	160,14	2,53E-04	39,75	39,70	1614,35	1956,50		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	1,136	138,9	1,39E-04		0,409	157,80	2,54E-04	39,51	40,79	1608,15	1868,00	1971,74	109,54
	1,147	137,4	1,37E-04		0,413	157,58	2,49E-04	39,68	39,84	1656,49	1960,92		
	1,179	134,1	1,34E-04		0,410	158,04	2,46E-04	39,35	39,55	1669,00	2086,29		

### A.4.3. Reboco de argamassa em Murete de Taipa

Tabela A.4.3 1 – Temperatura e humidade relativa na zona de Lisboa em Setembro de 2013.

Setembro 2013													
	Dia	20	21	22	23	24	25	26	27*	28*	29*	30*	Média
T (°C)	Máx	33,6	30,8	33,3	27,6	25,1	22,1	23,7	22,2	21,3	20,3	20,9	25,5
	Min	18,1	19,4	19,7	19,3	18,4	18	16,8	19,5	17,6	18,3	19,8	18,6
HR (%)	Máx	81	70	79	83	91	91	93	94	95	97	98	88,4
	Min	20	33	30	49	50	63	58	66	81	81	93	56,7

\*Dias em que ocorreu precipitação.

Tabela A.4.3 2 - Temperatura e humidade relativa na zona de Lisboa em Outubro de 2013.

		Outubro 2013															
		Dia	1*	2*	3*	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T (°C)	Máx	21	22,8	22,7	23,8	23,2	26,8	27,8	28,6	28,7	28,4	24,7	18,6	22,1	21,9	24,2	
	Min	19,1	18,2	17,7	16,4	15,9	15,7	17,6	16,7	17,6	18,7	14,9	15,6	15,4	15,8	17,5	
HR (%)	Máx	98	97	97	97	93	91	76	78	77	72	90	77	82	92	94	
	Min	91	78	64	59	52	39	36	32	24	35	52	62	56	74	67	

\*Dias em que ocorreu precipitação.

Tabela A.4.3 3 - Temperatura e humidade relativa na zona de Lisboa em Outubro de 2013.

		Outubro 2013																	
		Dia	16	17	18*	19	20	21*	22*	23*	24*	25*	26	27	28	29	30	31	Mé-dia
T (°C)	Má x	24,7	25,4	20,7	21,4	21,8	21,8	21,7	20,9	21,1	19,5	19,9	23,2	17,6	17,9	19,3	19,9	22,6	
	Min	17,1	16,9	17,2	16,8	16,4	18,5	16,7	17,8	17,1	15,2	13,7	12,5	13,6	13,1	11,7	10,6	16,1	
HR (%)	Má x	95	96	95	96	96	93	96	96	97	97	96	98	95	78	78	83	90,2	
	Min	65	60	79	63	66	74	68	83	90	68	70	55	72	46	43	45	60,3	

\*Dias em que ocorreu precipitação.

Tabela A.4.3 4 - Temperatura e humidade relativa na zona de Lisboa em Novembro de 2013.

Novembro 2013													
	Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Média
T (°C)	Máx	20,5	20,4	19,7	18,8	18,7	18,7	19,7	18,7	17,9	19,4	20,2	19,3
	Min	11,9	14,8	14,9	14,7	16,4	15,6	15,9	13,8	11,5	14,6	13	14,3
HR (%)	Máx	92	93	95	90	93	88	88	94	89	90	85	90,6
	Min	69	71	62	70	79	59	65	48	58	65	56	63,8

Tabela A.4.3 5 - Dureza superficial do reboco de argamassas - Durômetro (Shore A).

Argamassas	Pontos	Resistência Superficial [Shore A]											Média	Média <sub>Total</sub>	DP
CL3_10t(ArF)_0,5FAIã	A	48	86	55	80	85	70	70	72	58	83	71	67,0	5,2	
	B	70	82	58	60	45	70	60	69	46	73	63			
CL3_10t(ArF)_0,5FV	D	72	62	70	74	78	60	85	65	68	73	71	67	3,1	
	E	50	60	75	71	70	75	61	60	70	63	66			
	F	61	50	80	60	70	85	55	60	60	70	65			
CL2_25t(L)_0,5FV	G	70	55	75	60	65	65	50	50	70	75	64	66	3,4	
	H	60	65	95	76	65	78	56	70	64	72	70			
	I	65	72	64	72	68	68	65	63	54	66	66			
CL2_25t(L)_0,5FAIã	J	75	80	76	75	63	67	66	66	65	68	70	71,6	2,1	
	K	66	65	67	80	80	66	88	72	77	70	73			

Tabela A.4.3 6 - Dureza superficial do reboco de argamassa - Esclerômetro (graus Vickers).

Argamassas	Pontos	Resistência Superficial [Graus Vickers]										Média	Média <sub>Total</sub>	DP
CL3_10t(ArF)_0,5FAIã	A	30	35	35	33	28	30	33	34	35	33	33	24,6	7,1
	B	26	27	30	37	25	26	30	25	28	30	28		
CL3_10t(ArF)_0,5FV	D	35	35	35	33	30	34	34	30	34	33	33		
	E	25	28	25	30	26	20	22	30	33	33	27		
	F	10	15	10	16	23	19	20	22	15	21	17		
CL2_25t(L)_0,5FV	G	40	32	30	27	25	22	30	24	35	30	30		
	H	30	30	30	25	25	27	26	30	28	26	28		
	I	15	17	18	20	20	18	20	18	11	19	18		
CL2_25t(L)_0,5FAIã	J	15	15	15	10	15	17	10	16	14	12	14		
	K	20	20	17	24	21	16	20	13	18	19	19		

Tabela A.4.3 7 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten.

	CL3_10t(ArF)_0,5FV			CL3_10t(ArF)_0,5FAIã			CL2_25t(L)_0,5FV			CL2_25t(L)_0,5FAIã		
Tempo [min]	Tubo 1	Tubo 2	Média	Tubo 1	Tubo 2	Média	Tubo 1	Tubo 2	Média	Tubo 1	Tubo 2	Média
0	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-	0	0	-	0	0	-
5	16,40	16,00	16,20	9,00	18,00	13,50	24,3	11,7	18	9,5	7,6	8,55
10	28,00	26,10	27,05	14,50	26,00	20,25	38,6	17,7	28,15	16,7	19,1	17,9
15	36,40	32,30	34,35	20,10	34,00	27,05	52,6	23,7	38,15	24,7	24,6	24,65
30	57,80	45,30	51,55	27,80	56,00	41,90	80,6	40	60,3	41,7	34,7	38,2
60	74,80	62,80	68,80	41,80	91,00	66,40	105,6	64,8	85,2	54,7	53,7	54,2
C <sub>abs</sub> [kg/(m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> )]	18,49			17,84			22,90			14,57		

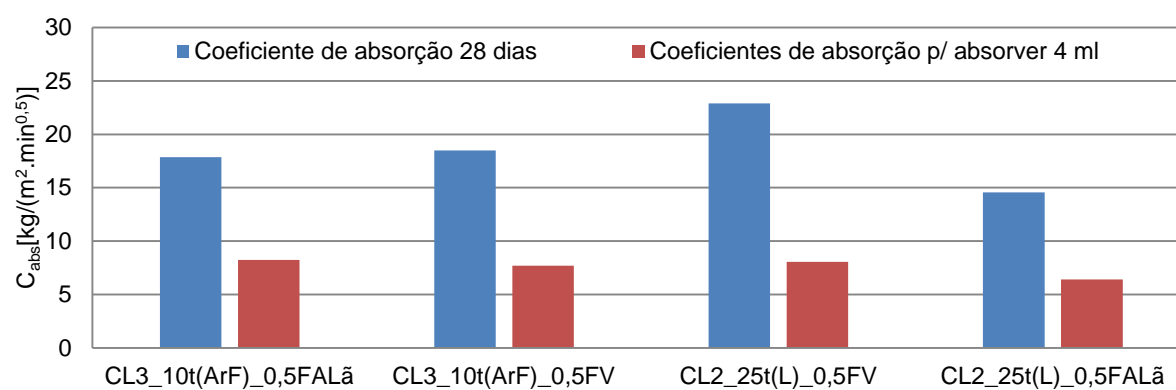


Figura A.4.3.1 – Coeficientes de absorção aos 60 min e após absorver 4 ml – Reboco em murete de taipa.

## A.5. Valores da caracterização das argamassas em estado endurecido aos 90 dias – Provetes prismáticos e em suporte tijolo

### A.5.1. Provetes em suporte tijolo

Tabela A.5.1 1 - Dureza superficial – Durómetro [Shore A] – Traço 1:2.

Argamassas	Medições [Durómetro – Shore A]										Média	DP
CL2	72	80	69	74	72	78	70	69	68	65	<b>71,7</b>	4,6
CL2_25t(L)	76	70	69	79	89	75	84	81	86	70	<b>77,9</b>	7,1
CL2_25t(L)_0,5FV	69	62	50	81	71	84	76	67	73	69	<b>70,2</b>	9,6
CL2_25t(L)_FV	70	67	74	63	70	72	68	80	78	73	<b>71,5</b>	5,1
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	68	78	67	72	75	76	70	85	76	82	<b>74,9</b>	5,8
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	71	66	65	64	67	75	55	70	63	62	<b>65,8</b>	5,5
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	67	62	90	80	67	65	68	69	84	78	<b>73,0</b>	9,3
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	78	79	70	85	72	71	67	81	76	77	<b>75,6</b>	5,5

Tabela A.5.1 2 - Dureza superficial – Durómetro [Shore A] – Traço 1:3.

Argamassas	Medições [Durómetro – Shore A]										Média	DP
CL3	89	86	79	84	70	59	72	81	71	79	<b>77,0</b>	9,0
CL3_10t(ArF)	60	79	76	75	63	70	65	67	72	64	<b>69,1</b>	6,3
CL3_10t(ArF)_0,5FV	80	69	65	60	84	74	68	66	74	63	<b>70,3</b>	7,6
CL3_10t(ArF)_FV	60	73	86	75	84	73	72	72	80	66	<b>74,1</b>	7,8
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	73	73	79	71	79	73	68	79	84	81	<b>76,0</b>	5,1
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	80	71	79	68	55	65	77	72	66	75	<b>70,8</b>	7,6
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	79	90	66	65	88	79	86	85	69	90	<b>79,7</b>	9,8
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	75	72	85	75	86	68	73	72	84	90	<b>78,0</b>	7,5

Tabela A.5.1 3 - Condutibilidade térmica – Traço 1:2.

Argamassas	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	Média	DP
CL2	0,477	0,453	0,516	0,448	0,451	0,482	<b>0,471</b>	0,026
CL2_25t(L)	0,650	0,646	0,653	0,501	0,635	0,507	<b>0,599</b>	0,074
CL2_25t(L)_0,5FV	0,393	0,459	0,435	0,384	0,442	0,348	<b>0,410</b>	0,042
CL2_25t(L)_FV	0,381	0,358	0,355	0,479	0,405	0,444	<b>0,404</b>	0,050
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,521	0,475	0,408	0,475	0,550	0,414	<b>0,474</b>	0,056
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	0,421	0,380	0,418	0,416	0,341	0,367	<b>0,391</b>	0,033
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,539	0,552	0,597	0,501	0,492	0,660	<b>0,557</b>	0,063
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	0,585	0,572	0,562	0,553	0,633	0,669	<b>0,596</b>	0,046

Tabela A.5.1 4 - Condutibilidade térmica – Traço 1:3.

Argamassas	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	Média	DP
CL3	0,438	0,475	0,457	0,540	0,548	0,481	<b>0,490</b>	0,045
CL3_10t(ArF)	0,495	0,517	0,510	0,527	0,571	0,483	<b>0,517</b>	0,031
CL3_10t(ArF)_0,5FV	0,340	0,421	0,503	0,436	0,383	0,446	<b>0,422</b>	0,056
CL3_10t(ArF)_FV	0,390	0,375	0,356	0,398	0,468	0,453	<b>0,407</b>	0,044
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,594	0,409	0,487	0,572	0,428	0,381	<b>0,479</b>	0,088
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	0,427	0,421	0,426	0,443	0,418	0,352	<b>0,415</b>	0,032
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,633	0,591	0,703	0,547	0,632	0,462	<b>0,595</b>	0,083
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	0,611	0,547	0,555	0,577	0,546	0,520	<b>0,559</b>	0,031

Tabela A.5.1 5 - Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:2.

Argamas- sas	AB		AC		AD		AE		AF		FB		FC		FD		FE		Média <sub>ve-</sub> locidade (m/s)	DP
	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)		
CL2	9,75 E-05	1010,91	1,61 E-04	1216,13	1,06 E-04	1009,26	1,29 E-04	1136,35	2,01 E-04	1109,75	1,34 E-04	1094,03	1,02 E-04	1090,17	1,78 E-04	1110,70	8,34 E-05	1176,15	<b>1105,94</b>	<b>67,8 2</b>
CL2_25t(L) )	7,24 E-05	1361,54	1,17 E-04	1669,51	8,63 E-05	1241,12	1,01 E-04	1462,43	1,41 E-04	1584,24	1,07 E-04	1365,33	9,59 E-05	1156,10	1,35 E-04	1465,49	7,61 E-05	1288,92	<b>1399,41</b>	<b>163, 75</b>
CL2_25t(L) )_0,5FV	8,25 E-05	1194,30	1,39 E-04	1406,36	9,26 E-05	1156,71	1,24 E-04	1189,01	1,68 E-04	1328,62	1,31 E-04	1111,80	9,72 E-05	1140,64	1,88 E-04	1053,54	8,95 E-05	1096,02	<b>1186,33</b>	<b>113, 49</b>
CL2_25t(L) )_FV	8,23 E-05	1197,21	1,30 E-04	1506,92	1,06 E-04	1012,76	1,17 E-04	1256,72	1,71 E-04	1310,18	1,24 E-04	1175,93	9,75 E-05	1137,52	1,29 E-04	1532,45	8,31 E-05	1180,39	<b>1256,68</b>	<b>169, 96</b>
CL2_25t(L) )_0,5FA <sub>crina</sub>	9,15 E-05	1077,22	1,73 E-04	1131,42	1,26 E-04	852,88	1,49 E-04	988,27	1,89 E-04	1185,10	1,37 E-04	1062,73	1,05 E-04	1057,92	1,84 E-04	1073,16	8,48 E-05	1156,74	<b>1065,05</b>	<b>99,0 0</b>
CL2_25t(L) )_FA <sub>crina</sub>	9,04 E-05	1090,34	1,88 E-04	1044,96	9,01 E-05	1188,79	1,27 E-04	1154,18	2,13 E-04	1049,95	1,54 E-04	947,20	1,09 E-04	1021,84	2,00 E-04	988,79	1,10 E-04	896,16	<b>1042,47</b>	<b>93,5 6</b>
CL2_25t(L) )_0,5FA <sub>Lä</sub>	7,34 E-05	1341,76	1,24 E-04	1579,37	9,20 E-05	1165,10	1,08 E-04	1362,22	1,62 E-04	1375,52	1,14 E-04	1277,01	1,08 E-04	1030,39	1,23 E-04	1605,82	7,41 E-05	1324,29	<b>1340,16</b>	<b>180, 41</b>
CL2_25t(L) )_FA <sub>Lä</sub>	7,13 E-05	1381,91	1,14 E-04	1722,32	8,71 E-05	1230,20	9,55 E-05	1539,99	2,13 E-04	1048,80	1,08 E-04	1348,11	1,09 E-04	1021,53	1,37 E-04	1439,90	7,63 E-05	1286,11	<b>1335,43</b>	<b>223, 32</b>

Tabela A.5.1 6 - Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:3.

Argamas- sas	AB		AC		AD		AE		AF		FB		FC		FD		FE		Média <sub>ve-</sub> locidade (m/s)	DP
	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)	Tem po (s)	Veloci- dade (m/s)		
CL3	7,38 E-05	1335,09	1,38 E-04	1419,26	8,87 E-05	1208,00	1,19 E-04	1237,69	1,91 E-04	1171,84	1,13 E-04	1293,98	9,15 E-05	1211,25	1,27 E-04	1555,74	8,31 E-05	1181,34	<b>1290,47</b>	<b>127, 87</b>
CL3_10t(Ar F)	9,72 E-05	1013,68	1,52 E-04	1285,53	9,14 E-05	1172,32	1,24 E-04	1190,61	1,80 E-04	1243,35	1,14 E-04	1279,99	9,15 E-05	1211,25	1,53 E-04	1294,24	7,33 E-05	1339,35	<b>1225,59</b>	<b>95,9 8</b>
CL3_10t(Ar F)_0,5FV	8,35 E-05	1180,47	1,36 E-04	1445,43	9,46 E-05	1132,26	1,46 E-04	1010,90	1,54 E-04	1449,59	1,21 E-04	1206,69	1,02 E-04	1085,90	1,84 E-04	1075,29	9,14 E-05	1073,24	<b>1184,42</b>	<b>160, 37</b>
CL3_10t(Ar F)_FV	9,25 E-05	1064,81	2,20 E-04	890,37	1,18 E-04	909,08	1,65 E-04	892,54	2,15 E-04	1037,76	1,52 E-04	961,54	1,05 E-04	1060,96	1,71 E-04	1155,45	9,05 E-05	1084,71	<b>1006,36</b>	<b>95,9 4</b>
CL3_10t(Ar F)_0,5FA <sub>crina</sub>	7,40 E-05	1330,89	1,29 E-04	1522,92	8,98 E-05	1192,76	1,14 E-04	1292,79	1,58 E-04	1411,43	1,16 E-04	1258,85	9,56 E-05	1160,13	1,37 E-04	1446,56	7,48 E-05	1311,31	<b>1325,30</b>	<b>118, 18</b>
CL3_10t(Ar F)_FA <sub>crina</sub>	8,86 E-05	1112,08	1,65 E-04	1188,84	1,00 E-04	1071,50	1,38 E-04	1069,45	2,01 E-04	1113,81	1,44 E-04	1012,17	1,02 E-04	1091,96	1,79 E-04	1107,80	1,05 E-04	938,44	<b>1078,45</b>	<b>70,4 8</b>
CL3_10t(Ar F)_0,5FA <sub>Lä</sub>	6,98 E-05	1412,28	1,11 E-04	1767,89	7,39 E-05	1450,59	1,00 E-04	1464,37	1,43 E-04	1562,81	1,05 E-04	1397,54	8,53 E-05	1299,77	1,11 E-04	1784,40	6,06 E-05	1620,20	<b>1528,87</b>	<b>167, 90</b>
CL3_10t(Ar F)_FA <sub>Lä</sub>	8,72 E-05	1129,93	1,37 E-04	1426,49	9,28 E-05	1154,22	1,17 E-04	1258,15	1,97 E-04	1134,74	1,16 E-04	1260,12	9,64 E-05	1149,71	1,16 E-04	1711,85	7,83 E-05	1252,72	<b>1275,33</b>	<b>189, 01</b>

Tabela A.5.1 7 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:2.

Tempo (minutos)	CL2					CL2_25t(L)					CL2_25t(L)_0,5FV					CL2_25t(L)_FV				
	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
5	15,50	17,10	15,00	15,87	0,90	18,80	20,00	21,00	19,93	0,90	24,00	23,40	16,20	23,70	0,30	25,00	34,60	-	29,80	4,80
10	28,90	28,70	29,80	29,13	0,48	-	31,50	34,30	32,90	1,40	38,50	35,80	27,20	37,15	1,35	41,50	57,80	-	49,65	8,15
15	38,40	42,70	35,40	38,83	3,00	-	45,30	45,60	45,45	0,15	50,70	43,80	36,40	47,25	3,45	54,50	75,50	-	65,00	10,50
30	59,00	62,90	55,40	59,10	3,06	-	76,00	70,20	73,10	2,90	72,70	62,80	52,40	67,75	4,95	85,70	113,50	-	99,60	13,90
60	92,80	93,00	94,30	93,37	0,66	-	122,90	105,80	114,35	8,55	105,70	92,60	81,10	99,15	6,55	129,70	172,00	-	150,85	21,15
$C_{abs}[kg/(m^2 \cdot min^{0,5})]$	24,94	24,99	25,34	25,09	0,18	-	33,03	28,43	30,73	2,30	28,41	24,89	21,79	26,65	1,76	34,86	46,22	-	40,54	5,68

Tabela A.5.1 8 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:2.

Tempo (minutos)	CL2_25t(L)_0,5FACrina					CL2_25t(L)_FACrina					CL2_25t(L)_0,5FALã					CL2_25t(L)_FALã				
	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
5	26,80	20,70	20,50	22,67	2,92	28,00	29,90	21,30	26,40	3,69	19,50	25,30	27,80	24,20	3,48	18,20	27,00	22,80	22,67	3,59
10	43,10	30,80	33,40	35,77	5,29	47,50	50,20	36,40	44,70	5,97	32,80	39,00	42,70	38,17	4,08	29,80	45,00	39,30	38,03	6,27
15	52,90	39,80	43,20	45,30	5,55	62,30	66,60	51,50	60,13	6,35	41,20	51,00	56,10	49,43	6,18	39,80	58,50	50,80	49,70	7,67
30	78,50	56,30	67,20	67,33	9,06	95,50	108,6	88,40	97,50	8,37	59,70	75,20	83,50	72,80	9,86	58,80	88,50	76,90	74,73	12,2
60	117,9	82,30	103,2	101,13	14,6	151,5	176,6	140,4	156,17	15,1	87,90	104,4	113,8	102,03	10,7	83,40	114,5	115,3	104,40	14,9
$C_{abs}[kg/(m^2 \cdot min^{0,5})]$	31,68	22,12	27,73	27,18	3,93	40,71	47,46	37,73	41,97	4,07	23,62	28,06	30,58	27,42	2,88	22,41	30,77	30,99	28,06	3,99



Tabela A.5.1 9 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:3.

Tempo (min)	CL3					CL3_10t(ArF)					CL3_10t(ArF)_0,5FV					CL3_10t(ArF)_FV				
	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	27,20	21,80	22,60	23,87	2,70	23,90	23,50	24,40	23,93	0,37	-	30,00	33,10	31,55	1,55	36,00	36,20	46,00	39,40	4,67
10	-	41,10	39,40	40,25	0,85	-	48,50	42,40	45,45	3,05	-	52,00	51,10	51,55	0,45	62,80	60,20	74,00	65,67	5,99
15	-	56,80	52,90	54,85	1,95	-	70,50	62,40	66,45	4,05	-	68,00	67,10	67,55	0,45	84,30	81,40	98,00	87,90	7,24
30	-	88,80	82,60	85,70	3,10	-	126,50	106,40	116,45	10,05	-	106,70	98,10	102,40	4,30	129,80	129,90	156,20	138,63	12,42
60	-	136,10	126,60	131,35	4,75	-	-	-	-	-	-	155,10	142,10	148,60	6,50	-	-	-	-	-
$C_{abs}[kg/(m^2 \cdot min^{0,5})]$	-	36,58	34,02	35,30	1,81	-	48,08	40,44	44,26	3,82	-	41,68	38,19	39,93	1,75	49,33	49,37	59,36	52,69	4,72

Tabela A.5.1 10 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:3.

Tempo (min)	CL3_10t(ArF)_0,5FAcrina					CL3_10t(ArF)_FAcrina					CL3_10t(ArF)_0,5FALã					CL3_10t(ArF)_FALã				
	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP	Tubo			Média	DP
	1	2	3			1	2	3			1	2	3			1	2	3		
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	27,30	32,20	26,00	29,10	3,10	42,10	42,70	31,20	38,67	5,29	19,50	22,50	22,50	21,50	1,41	19,90	36,00	21,80	25,90	7,18
10	46,30	56,30	44,70	50,50	5,80	64,10	68,90	57,20	63,40	4,80	35,70	36,70	41,70	38,03	2,62	36,80	58,00	37,80	44,20	9,77
15	64,50	73,80	63,30	68,55	5,25	85,60	90,00	77,50	84,37	5,18	50,70	48,20	54,70	51,20	2,68	49,10	81,70	50,40	60,40	15,07
30	116,20	132,80	110,80	121,80	11,00	129,50	133,10	118,80	127,13	6,07	76,90	75,80	88,00	80,23	5,51	80,10	126,10	76,40	94,20	22,61
60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	115,90	115,80	136,00	122,57	9,50	124,10	187,30	118,60	143,33	31,17
$C_{abs}[kg/(m^2 \cdot min^{0,5})]$	44,16	50,47	42,11	46,29	4,18	49,22	50,58	45,15	48,32	2,31	31,15	31,12	36,55	32,94	2,55	33,35	50,33	31,87	38,52	8,38



Tabela A.5.1 11 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:2.

Argamassas	Tempo p/ absorver 4 ml						
	Segundos			Média (s)	Média (min)	Desv.Pad	C <sub>abs.4ml</sub>
CL2	45	28	50	41,00	0,68	11,53	10,07
CL2_25t(L)	24	31	24	26,33	0,44	4,04	12,57
CL2_25t(L)_0,5FV	16	17	25	19,33	0,32	4,93	14,67
CL2_25t(L)_FV	20	11	7	12,67	0,21	6,66	18,12
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	15	18	25	19,33	0,32	5,13	14,67
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	16	12	19	15,67	0,26	3,51	16,29
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	26	12	10	16,00	0,27	8,72	16,12
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	30	14	19	21,00	0,35	8,19	14,07

Tabela A.5.1 12 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:3.

Argamassas	Tempo p/ absorver 4 ml						
	Segundos			Média (s)	Média (min)	Desv.Pad	C <sub>abs.4ml</sub>
CL3	26	10	21	19,00	0,32	8,19	14,80
CL3_10t(ArF)	24	14	14	17,33	0,29	5,77	15,49
CL3_10t(ArF)_0,5FV	8	14	12	11,33	0,19	3,06	19,16
CL3_10t(ArF)_FV	8	6	7	7,00	0,12	1,00	24,38
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	18	9	12	13,00	0,22	4,58	17,89
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	11	7	14	10,67	0,18	3,51	19,75
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	24	18	19	20,33	0,34	3,21	14,30
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	16	13	22	17,00	0,28	4,58	15,64

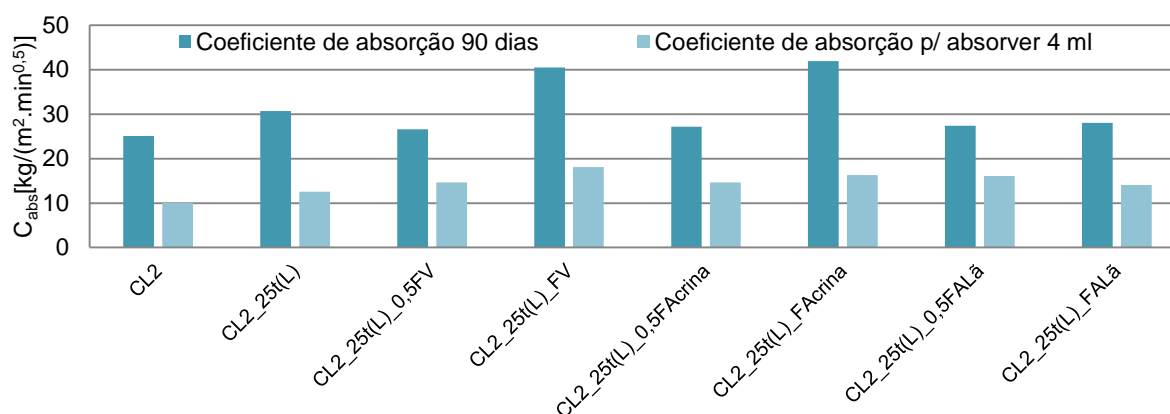


Figura A.5.1 – Coeficientes de absorção aos 60 min e após absorção de 4 ml – Traço 1:2.

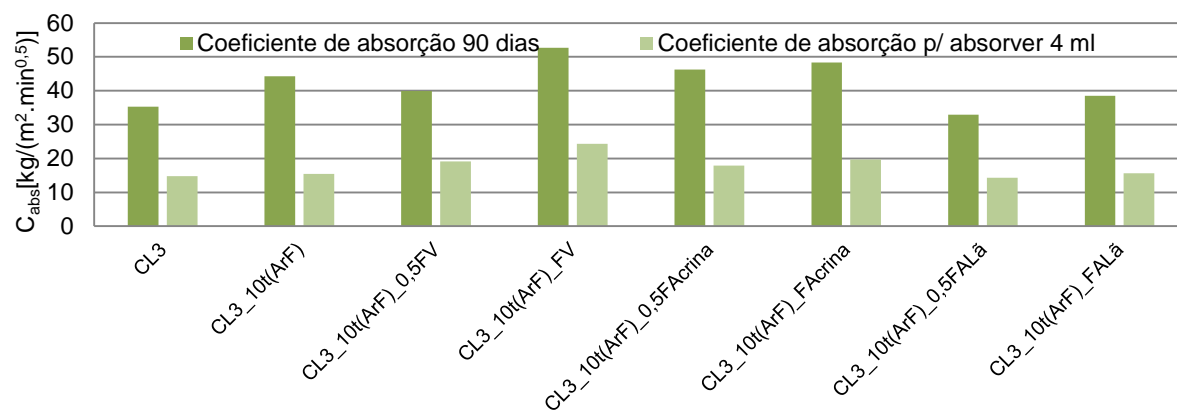


Figura A.5 2 - Coeficientes de absorção aos 60 min e após absorção de 4 ml – Traço 1:3.

## A.5.2. Provetes prismáticos

Tabela A.5.2 1 - Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:2.

Argamassas	Massa [g]	E [MPa] Dinâmico	Média <sub>provet</sub>	Média	DP
CL2_25t(L)_FV	392,48	1691	1689,750	1624,42	53,212
		1703			
		1666			
		1699			
	392,383	1591	1602,750		
		1594			
		1615			
		1611			
	391,811	1626	1580,750		
		1549			
		1565			
		1583			
CL2_25t(L)_0,5FV	413,775	2025	2015,000	1933	67,351
		2028			
		1993			
		2014			
	412,781	1891	1915,000		
		1902			
		1914			
		1953			
	411,175	1833	1869,000		
		1901			
		1876			
		1866			
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	411,96	2289	2271,750	2329,92	58,852
		2275			
		2273			
		2250			
	412,34	2423	2336,250		
		2293			
		2279			
		2350			
	414,744	2384	2381,750		
		2382			
		2379			
		2382			
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	421,19	2375	2344,500	2293,58	55,412
		2330			
		2341			
		2332			
	422,248	2211	2222,750		
		2225			
		2236			
		2219			
	424,624	2315	2313,500		
		2311			
		2321			
		2307			

Tabela A.5.2 2 - Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:2.

Argamassas	Massa [g]	E [MPa] Dinâmico	Média <sub>provete</sub>	Média	DP
CL2	441,816	2417	2428,500	2452,67	55,644
		2406			
		2439			
		2452			
	440,84	2418	2409,250		
		2412			
		2404			
		2403			
	436,97	2550	2520,250		
		2555			
		2500			
		2476			
CL2_25t(L)	425,457	2368	2389,750	2435,5	45,977
		2373			
		2396			
		2422			
	424,753	2400	2455,250		
		2524			
		2436			
		2461			
	427,753	2473	2461,500		
		2468			
		2441			
		2464			
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	425,285	2209	2228,250	2276,83	56,099
		2227			
		2234			
		2243			
	425,285	2244	2252,750		
		2242			
		2257			
		2268			
	427,190	2359	2349,500		
		2329			
		2348			
		2362			
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	403,36	2119	2020,250	2012,5	73,032
		1916			
		2026			
		2020			
	397,695	1941	1944,750		
		1932			
		1939			
		1967			
	400,336	2128	2072,500		
		2045			
		2052			
		2065			

Tabela A.5.2 3 - Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:3.

Argamassas	Massa [g]	E [MPa] Dinâmico	Média <sub>provete</sub>	Média	DP
CL3_10t(ArF)_FV	395,15	1525	1534,000	1545	27,575
		1533			
		1547			
		1531			
	394,99	1563	1537,000		
		1578			
		1480			
		1527			
	387,501	1575	1564,000		
		1559			
		1556			
		1566			
CL3_10t(ArF)_0,5FV	412,147	1992	1975,000	1900,42	117,371
		1950			
		1982			
		1976			
	410,902	1930	1979,250		
		1936			
		2031			
		2020			
	406,683	1725	1747,000		
		1751			
		1753			
		1759			
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	412,838	2215	2211,000	2221,08	25,791
		2208			
		2221			
		2200			
	410,417	2197	2199,000		
		2211			
		2183			
		2205			
	409,97	2260	2253,250		
		2248			
		2258			
		2247			
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	419,122	2248	2216,500	2244,75	30,928
		2234			
		2164			
		2220			
	416,328	2291	2266,750		
		2252			
		2267			
		2257			
	412,94	2252	2251,000		
		2264			
		2243			
		2245			

Tabela A.5.2 4 - Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:3.

Argamassas	Massa [g]	E [MPa] Dinâmico	Média <sub>provete</sub>	Média	DP
CL3	435,63	2616	2599,750	2655,5	53,134
		2622			
		2570			
		2591			
	430,17	2646	2649,500		
		2651			
		2641			
		2660			
	436,937	2743	2717,250		
		2697			
		2725			
		2704			
CL3_10t(ArF)	431,14	2321	2335,250	2251,08	64,074
		2345			
		2326			
		2349			
	423,208	2184	2194,500		
		2195			
		2191			
		2208			
	422,708	2217	2223,500		
		2221			
		2226			
		2230			
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	410,410	2119	2091,750	2118,42	36,218
		2085			
		2087			
		2076			
	413,665	2098	2101,500		
		2083			
		2123			
		2102			
	410,832	2147	2162,000		
		2146			
		2179			
		2176			
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	406,812	1872	1949,500	1965,08	64,028
		2004			
		1992			
		1930			
	404,743	1931	1918,750		
		1926			
		1972			
		1846			
	407,377	2044	2027,000		
		2036			
		2014			
		2014			



Tabela A.5.2 5 – Condutibilidade térmica – 90dias.

Argamassas	$\lambda$ [w/m.K]	$\lambda_{\text{média}}$ [w/m.K]	DP	Argamassas	$\lambda$ [w/m.K]	$\lambda_{\text{média}}$ [w/m.K]	DP
CL2_25t(L)_FV	0,601	0,545	0,049	CL3_10t(ArF)_FV	0,512	0,512	0,004
	0,515				0,516		
	0,518				0,508		
CL2_25t(L)_0,5FV	0,594	0,585	0,020	CL3_10t(ArF)_0,5FV	0,606	0,604	0,025
	0,598				0,579		
	0,562				0,628		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	0,661	0,673	0,012	CL3_10t(ArF)_FA <sub>cri</sub> na	0,663	0,598	0,067
	0,673				0,602		
	0,685				0,529		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,669	0,649	0,019	CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,710	0,649	0,056
	0,647				0,638		
	0,631				0,599		
CL2	0,688	0,691	0,036	CL3	0,801	0,746	0,049
	0,657				0,707		
	0,728				0,731		
CL2_25t(L)	0,634	0,684	0,045	CL3_10t(ArF)	0,645	0,639	0,016
	0,698				0,651		
	0,720				0,620		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	0,606	0,626	0,020	CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	0,534	0,581	0,044
	0,627				0,587		
	0,646				0,621		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,682	0,691	0,010	CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,640	0,642	0,014
	0,689				0,657		
	0,701				0,629		



Tabela A.5.2 6 – Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:2.

Argamassas	v [km/s]	t [μs]	t [s]	v	m [kg]	L [mm]	V[m <sup>3</sup> ]	a[mm]	b[mm]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Ed [MPa]	Ed <sub>média</sub> [MPa]	DP
CL2_25t(L)_FV	1,115	143,1	1,43E-04	0,20	0,392	159,62	2,50E-04	39,77	39,42	1568,40	1756,04	1711,68	43,63
	1,107	144,3	1,44E-04		0,392	159,71	2,53E-04	39,77	39,83	1551,20	1710,18		
	1,098	145,5	1,46E-04		0,392	159,72	2,55E-04	39,83	40,03	1538,78	1668,83		
CL2_25t(L)_0,5FV	1,172	137,6	1,38E-04		0,414	161,20	2,59E-04	39,88	40,28	1598,12	1973,99	1933,31	61,56
	1,147	140,2	1,40E-04		0,413	160,83	2,62E-04	39,87	40,94	1572,58	1862,49		
	1,170	137,8	1,38E-04		0,411	161,20	2,58E-04	39,90	40,10	1594,21	1963,44		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	1,270	125,8	1,26E-04		0,412	159,73	2,48E-04	39,93	38,90	1660,63	2409,51	2391,18	43,32
	1,253	127,4	1,27E-04		0,412	159,60	2,49E-04	39,86	39,10	1657,92	2341,71		
	1,281	124,4	1,24E-04		0,415	159,40	2,53E-04	39,82	39,86	1639,28	2422,32		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	1,265	128,1	1,28E-04		0,421	162,13	2,61E-04	39,63	40,55	1616,59	2329,89	2323,85	22,78
	1,268	128,7	1,29E-04		0,422	163,20	2,61E-04	39,65	40,31	1619,00	2343,00		
	1,257	129,3	1,29E-04		0,425	162,57	2,63E-04	39,77	40,65	1615,65	2298,66		
CL2	1,228	130,9	1,31E-04		0,442	160,70	2,65E-04	39,88	41,40	1665,42	2259,02	2250,05	45,22
	1,205	132,7	1,33E-04		0,441	159,85	2,62E-04	40,17	40,74	1685,39	2201,03		
	1,223	131,1	1,31E-04		0,437	160,40	2,57E-04	39,44	40,64	1699,85	2290,12		
CL2_25t(L)	1,192	133,8	1,34E-04		0,425	159,51	2,56E-04	39,82	40,25	1664,18	2128,66	2177,90	46,54
	1,208	131,7	1,32E-04		0,425	159,10	2,55E-04	39,68	40,47	1662,71	2183,87		
	1,204	132,6	1,33E-04		0,428	159,70	2,51E-04	39,92	39,44	1701,43	2221,16		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	0,948	168,0	1,68E-04		0,403	159,34	2,54E-04	39,74	40,08	1589,32	1286,73	1304,83	22,30
	0,952	167,5	1,68E-04		0,398	159,41	2,50E-04	39,77	39,40	1592,35	1298,02		
	0,961	166,2	1,66E-04		0,400	159,68	2,50E-04	39,76	39,40	1600,61	1329,74		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,991	161,7	1,62E-04		0,425	160,30	2,65E-04	39,81	41,50	1605,85	1420,35	1417,08	36,45
	0,971	164,9	1,65E-04		0,422	160,09	2,59E-04	39,48	41,05	1625,81	1379,11		
	0,993	161,3	1,61E-04		0,427	160,25	2,61E-04	39,50	41,30	1634,30	1451,78		

Tabela A.5.2 7 – Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:3.

Argamassas	v [km/s]	t [μs]	t [s]	v	m [kg]	L [mm]	V[m <sup>3</sup> ]	a[mm]	b[mm]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Ed [MPa]	Ed <sub>média</sub> [MPa]	DP
CL3_10t(ArF)_FV	1,099	145,3	1,45E-04	0,20	0,395	159,65	2,57E-04	39,84	40,44	1536,45	<b>1669,42</b>	<b>1664,00</b>	9,20
	1,106	144,8	1,45E-04		0,395	160,10	2,60E-04	39,78	40,88	1517,12	<b>1669,20</b>		
	1,097	145,7	1,46E-04		0,388	159,80	2,54E-04	39,78	39,92	1527,20	<b>1653,38</b>		
CL3_10t(ArF)_0,5FV	1,176	137,0	1,37E-04		0,412	161,14	2,62E-04	39,81	40,80	1574,89	<b>1960,92</b>	<b>1934,01</b>	68,74
	1,169	137,6	1,38E-04		0,411	160,80	2,54E-04	39,75	39,80	1615,22	<b>1985,23</b>		
	1,157	138,3	1,38E-04		0,407	160,08	2,64E-04	39,74	41,54	1539,14	<b>1855,89</b>		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	1,229	130,6	1,31E-04		0,413	160,55	2,50E-04	39,55	39,44	1648,49	<b>2242,14</b>	<b>2181,27</b>	82,25
	1,226	130,3	1,30E-04		0,410	159,70	2,51E-04	39,77	39,46	1637,60	<b>2213,97</b>		
	1,195	133,8	1,34E-04		0,410	159,83	2,52E-04	39,70	39,75	1625,63	<b>2087,70</b>		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	1,191	134,2	1,34E-04		0,419	159,80	2,56E-04	39,79	40,20	1639,70	<b>2092,45</b>	<b>2096,45</b>	10,03
	1,205	132,7	1,33E-04		0,416	159,87	2,60E-04	39,78	40,94	1599,23	<b>2089,03</b>		
	1,216	131,3	1,31E-04		0,413	159,65	2,61E-04	39,79	41,04	1584,13	<b>2107,86</b>		
CL3	1,259	125,8	1,26E-04		0,436	158,40	2,52E-04	39,76	40,04	1727,52	<b>2464,98</b>	<b>2413,17</b>	47,33
	1,250	126,7	1,27E-04		0,430	158,40	2,52E-04	39,44	40,32	1707,76	<b>2402,30</b>		
	1,251	127,1	1,27E-04		0,437	159,06	2,60E-04	39,81	41,00	1682,99	<b>2372,22</b>		
CL3_10t(ArF)	1,179	135,8	1,36E-04		0,431	160,05	2,56E-04	39,87	40,08	1685,73	<b>2107,38</b>	<b>2056,50</b>	80,13
	1,190	134,3	1,34E-04		0,423	159,77	2,57E-04	39,96	40,25	1647,11	<b>2097,99</b>		
	1,157	137,5	1,38E-04		0,423	159,13	2,59E-04	39,86	40,90	1629,40	<b>1964,12</b>		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	0,945	169,8	1,70E-04		0,407	160,48	2,53E-04	39,79	39,60	1608,81	<b>1293,34</b>	<b>1296,33</b>	16,37
	0,962	166,6	1,67E-04		0,405	160,21	2,56E-04	39,85	40,16	1578,78	<b>1314,00</b>		
	0,945	169,4	1,69E-04		0,407	160,16	2,56E-04	39,79	40,13	1593,12	<b>1281,66</b>		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,943	167,4	1,67E-04		0,410	157,92	2,49E-04	39,52	39,90	1648,34	<b>1320,24</b>	<b>1324,75</b>	53,02
	0,925	170,2	1,70E-04		0,414	157,45	2,50E-04	39,70	40,01	1654,25	<b>1274,12</b>		
	0,964	163,6	1,64E-04		0,411	157,63	2,49E-04	39,33	40,13	1651,53	<b>1379,88</b>		

Tabela A.5.2 8 – Resistência à compressão e tracção – 90 dias.

Argamassas	Flexão [N]	Resistência à tracção [MPa]	Média	DP	Compressão [N]	Resistência à compressão [MPa]	Média	DP
CL2_25t(L)_FV	78,20	0,183	0,16	0,02	Fendilhado		0,43	0,01
	64,00	0,150			682,50	0,43		
	65,80	0,154			700,80	0,44		
CL2_25t(L)_0,5FV	86,00	0,202	0,20	0,01	716,00	0,45	0,44	0,01
	77,00	0,180			712,85	0,45		
	89,30	0,209			691,30	0,43		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	99,50	0,233	0,25	0,01	783,35	0,49	0,59	0,11
	109,00	0,255			913,45	0,57		
	106,70	0,250			1122,20	0,70		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	86,90	0,204	0,22	0,03	805,45	0,50	0,51	0,01
	88,70	0,208			818,05	0,51		
	110,40	0,259			832,05	0,52		
CL2	117,00	0,274	0,27	0,00	750,65	0,47	0,58	0,10
	116,20	0,272			1065,10	0,67		
	114,10	0,267			949,00	0,59		
CL2_25t(L)	105,83	0,248	0,25	0,01	917,10	0,57	0,53	0,07
	107,05	0,251			919,60	0,57		
	111,10	0,260			722,65	0,45		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	94,90	0,222	0,22	0,01	930,00	0,58	0,57	0,02
	84,80	0,199			879,50	0,55		
	96,65	0,227			906,50	0,57		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	103,10	0,242	0,25	0,02	954,80	0,60	0,60	0,02
	100,00	0,234			934,80	0,58		
	115,10	0,270			983,00	0,61		
CL3_10t(ArF)_FV	60,00	0,141	0,16	0,02	637,00	0,40	0,38	0,03
	77,50	0,182			558,40	0,35		
	68,00	0,159			649,85	0,41		
CL3_10t(ArF)_0,5FV	72,50	0,170	0,17	0,00	783,00	0,49	0,45	0,03
	69,50	0,163			707,80	0,44		
	70,85	0,166			685,45	0,43		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	77,10	0,181	0,22	0,04	745,03	0,47	0,47	0,02
	102,50	0,240			731,60	0,46		
	106,10	0,249			778,85	0,49		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	107,25	0,251	0,24	0,03	785,03	0,49	0,48	0,01
	92,45	0,217			773,01	0,48		
	113,25	0,265			766,57	0,48		
CL3	Fendilhado		0,28	0,02	656,60	0,41	0,52	0,10
	125,76	0,295			873,45	0,55		
	113,20	0,265			986,70	0,62		
CL3_10t(ArF)	107,90	0,253	0,24	0,02	852,19	0,53	0,47	0,05
	93,35	0,219			709,80	0,44		
	102,35	0,240			706,15	0,44		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	95,00	0,223	0,21	0,02	757,30	0,47	0,48	0,03
	79,50	0,186			723,67	0,45		
	88,40	0,207			811,60	0,51		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	79,40	0,186	0,20	0,02	816,10	0,51	0,51	0,00
	92,90	0,218			802,62	0,50		
	Fendilhado				810,70	0,51		



Tabela A.5.2 9 – Porosidade aberta e massa volúmica – Traço 1:2.

Argamassas	M1 seca [g]	M2 hidrostática [g]	M3 saturada [g]	P.A [%]	Média	DP	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Média	DP
CL2_25t(L)_FV	27,766	13,112	37,305	39,429	36,930	2,351	1147,69	1256,23	111,66
	39,559	19,498	51,139	36,598			1250,24		
	44,303	23,218	55,538	34,762			1370,76		
CL2_25t(L)_0,5FV	52,545	28,591	64,966	34,147	34,388	0,419	1444,54	1436,79	24,18
	54,102	29,904	67,058	34,871			1456,16		
	55,323	29,478	68,723	34,144			1409,68		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	54,412	30,363	69,542	38,618	36,400	2,608	1388,81	1424,63	32,19
	48,566	27,248	61,116	37,056			1433,98		
	61,269	33,203	75,425	33,528			1451,12		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	57,747	30,805	71,201	33,305	32,695	2,713	1429,52	1444,24	14,54
	66,637	34,222	80,351	29,730			1444,58		
	50,386	27,95	62,494	35,051			1458,60		
CL2	66,684	38,009	81,151	33,533	32,989	0,475	1545,69	1525,90	17,69
	53,478	29,834	65,008	32,780			1520,38		
	53,064	29,423	64,527	32,654			1511,62		
CL2_25t(L)	61,963	34,416	74,96	32,057	32,503	0,797	1528,29	1548,24	23,13
	58,759	32,872	70,957	32,028			1542,84		
	58,154	33,550	70,506	33,424			1573,60		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	56,331	29,467	68,254	30,740	31,630	0,874	1452,32	1487,75	52,01
	57,750	30,784	70,245	31,664			1463,47		
	54,325	30,624	65,73	32,487			1547,46		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	57,679	33,462	70,815	35,167	30,951	3,732	1544,16	1579,22	30,65
	55,262	30,302	65,002	28,069			1592,56		
	57,707	32,337	68,383	29,618			1600,93		

Tabela A.5.2 10 – Porosidade aberta e massa volúmica – Traço 1:3.

Argamassas	M1 seca [g]	M2 hidrostática [g]	M3 saturada [g]	P.A [%]	Média	DP	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Média	DP
<b>CL3_10t(ArF)_FV</b>	58,823	29,522	74,269	34,519	37,235	2,481	1314,57	<b>1328,58</b>	13,54
	40,984	22,298	53,123	39,380			1329,57		
	54,544	29,258	69,914	37,805			1341,60		
<b>CL3_10t(ArF)_0,5FV</b>	53,125	27,531	66,085	33,615	35,273	1,731	1377,94	<b>1413,60</b>	37,30
	53,119	29,420	67,079	37,069			1410,53		
	56,387	31,203	70,028	35,135			1452,34		
<b>CL3_10t(ArF)_FA<sub>crina</sub></b>	64,457	34,973	79,471	33,741	36,318	2,458	1448,54	<b>1435,31</b>	26,53
	57,049	32,129	72,740	38,637			1404,77		
	45,225	25,479	56,612	36,575			1452,64		
<b>CL3_10t(ArF)_0,5FA<sub>crina</sub></b>	54,139	30,633	67,561	36,346	35,875	1,078	1466,07	<b>1486,36</b>	49,55
	54,608	30,748	68,404	36,637			1450,18		
	64,469	37,158	78,944	34,641			1542,84		
<b>CL3</b>	79,914	44,553	94,435	29,111	29,227	1,375	1602,06	<b>1584,72</b>	27,97
	56,975	31,526	68,226	30,657			1552,45		
	54,572	29,980	64,095	27,914			1599,65		
<b>CL3_10t(ArF)</b>	59,806	32,642	71,681	30,418	29,070	1,220	1531,96	<b>1515,28</b>	39,86
	56,182	30,258	66,643	28,751			1544,10		
	56,033	28,600	66,723	28,041			1469,80		
<b>CL3_10t(ArF)_FA<sub>Lã</sub></b>	63,039	34,882	77,354	33,705	31,297	2,870	1484,25	<b>1531,11</b>	49,43
	59,507	33,022	72,009	32,067			1526,33		
	60,726	33,148	71,515	28,121			1582,77		
<b>CL3_10t(ArF)_0,5FA<sub>Lã</sub></b>	57,195	31,899	68,045	30,017	28,741	1,885	1582,33	<b>1593,24</b>	20,17
	57,242	31,762	67,971	29,631			1580,88		
	57,202	31,220	66,606	26,575			1616,52		



Tabela A.5.2 11 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de capilaridade.

Massas dos provetes [g]															
Min	CL2_25t(L) FV			CL2_25t(L) 0,5FV			CL3_10t(ArF) FV			CL3_10t(ArF) 0,5FV			CL2_25t(L) FA <sub>crina</sub>		
0	186,548	195,575	195,553	217,506	207,960	197,602	198,112	196,458	195,045	210,986	207,788	205,416	198,480	199,922	195,235
5	203,875	211,981	213,377	234,763	224,459	214,314	217,941	215,506	213,172	228,343	224,703	222,874	218,960	221,330	214,368
10	210,875	219,875	220,535	242,258	230,985	221,208	223,173	220,275	218,463	234,185	230,947	227,440	225,078	227,570	220,156
15	212,769	220,070	222,609	244,566	235,080	225,045	226,872	224,248	221,615	237,492	234,297	231,218	228,153	230,624	223,432
30	214,444	223,136	224,619	246,730	237,539	227,279	228,845	226,450	223,811	239,875	236,644	233,320	228,880	231,014	224,663
60	217,155	227,489	228,092	250,520	239,849	229,391	231,148	229,072	227,530	242,750	239,579	237,415	228,935	231,389	224,736
120	217,220	228,417	228,760	251,100	241,533	229,865	232,237	229,450	228,093	242,948	239,630	237,356	229,141	231,572	225,270
180	217,392	228,627	228,770	251,177	241,860	230,435	232,690	231,199	228,830	243,341	239,894	237,726	229,400	232,090	225,426
240	217,480	228,750	228,868	251,742	242,240	230,768	232,990	230,965	229,400	243,765	240,033	237,870	229,483	232,720	226,436
300	217,986	229,335	229,170	251,470	242,538	230,445	233,415	231,806	229,840	244,130	240,444	238,370	230,256	232,486	225,965
1440	218,970	230,650	230,535	253,200	243,572	232,080	233,818	232,320	230,371	245,212	241,863	239,273	230,172	232,731	226,633
2880	219,788	231,417	231,351	254,116	244,191	232,631	235,475	233,231	231,231	245,813	241,896	239,537	231,534	233,901	227,316
4320	220,342	232,024	231,808	254,048	244,840	232,843	235,803	233,989	232,135	246,764	242,928	240,631	231,773	234,227	227,632
5760	220,970	231,671	231,682	253,693	244,612	232,964	235,979	234,417	232,561	247,121	243,125	241,115	231,983	234,750	228,006

Tabela A.5.2 12 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de capilaridade.

Massas dos provetes [g]															
Min	CL2_25t(L) 0,5FA <sub>crina</sub>			CL3_10t(ArF) FA <sub>crina</sub>			CL3_10t(ArF) 0,5FA <sub>crina</sub>			CL2			CL2_25t(L)		
0	208,880	200,985	231,803	210,473	215,445	228,174	204,711	206,170	198,116	217,128	212,830	218,201	210,694	204,221	215,999
5	229,114	221,835	252,094	232,981	237,795	249,763	228,166	230,381	221,891	245,209	239,468	244,980	230,206	224,260	238,033
10	234,987	227,845	257,712	238,081	242,497	254,620	233,390	235,432	226,116	248,460	243,980	250,733	235,890	229,350	243,500
15	239,153	231,539	261,692	241,460	246,347	258,658	236,471	238,234	228,976	248,765	244,031	250,930	238,691	232,249	247,520
30	240,075	231,765	263,831	241,663	247,033	259,943	236,738	238,268	229,194	248,846	244,670	251,081	240,285	233,177	248,305
60	240,447	232,440	265,944	241,678	247,630	262,415	236,810	238,790	229,230	248,890	244,830	251,111	240,330	233,812	248,460
120	240,835	232,477	266,238	242,285	248,386	262,440	236,875	238,884	229,320	249,265	245,262	251,734	240,624	233,899	248,466
180	240,872	232,766	266,589	242,381	248,887	262,500	237,086	239,015	229,856	249,357	246,193	251,818	240,808	234,205	248,555
240	242,020	233,585	267,300	242,525	248,912	262,726	237,450	239,792	230,003	249,570	246,270	251,836	240,922	234,620	248,778
300	241,447	232,891	267,115	243,431	249,252	263,101	237,490	239,198	229,999	249,702	246,180	251,662	241,050	234,378	248,383
1440	242,102	233,290	267,441	243,056	249,581	263,757	238,040	239,924	230,952	249,855	246,318	252,024	241,490	234,844	249,276
2880	242,595	233,937	267,990	243,759	250,871	264,812	239,007	240,979	231,610	250,193	245,622	252,298	242,333	235,655	250,816
4320	243,062	234,385	268,785	244,531	251,417	265,383	239,186	241,212	231,990	250,635	246,344	253,353	243,063	236,244	250,271
5760	243,081	234,315	268,802	244,780	251,477	265,632	239,442	241,357	232,590	250,535	246,233	253,018	242,533	235,784	250,457

Tabela A.5.2 13 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de capilaridade.

Tempo [Min]	Massas dos provetes [g]																	
	CL3			CL3_10t(ArF)			CL2_25t(L)_FA <sub>Lā</sub>			CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lā</sub>			CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lā</sub>			CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lā</sub>		
<b>0</b>	180,956	226,391	222,128	207,855	214,646	214,467	199,735	189,186	202,996	212,050	210,447	209,735	199,750	199,815	205,946	204,628	207,317	198,211
<b>5</b>	200,531	245,334	241,868	228,812	235,872	235,930	225,000	213,543	230,949	235,224	233,893	232,737	225,191	224,804	231,906	227,126	229,966	222,212
<b>10</b>	204,280	249,522	246,685	232,844	239,653	239,841	228,925	216,885	234,223	238,560	237,461	235,612	227,761	227,942	235,038	230,042	232,519	224,700
<b>15</b>	204,780	252,780	249,520	234,680	243,010	242,715	232,034	219,440	236,460	242,380	241,082	238,961	231,259	230,820	237,715	231,772	234,512	226,412
<b>30</b>	204,817	254,291	250,618	236,119	243,274	243,461	232,540	219,642	236,894	243,816	241,873	240,034	232,324	232,713	239,261	234,833	237,575	228,050
<b>60</b>	205,430	256,378	251,268	237,145	245,085	244,640	233,582	220,390	237,920	244,840	242,750	241,690	233,359	233,335	240,430	236,108	238,420	228,777
<b>120</b>	205,461	256,686	251,282	237,402	245,442	244,806	234,095	220,630	238,051	245,381	242,602	241,342	233,402	233,484	240,522	236,115	238,617	228,944
<b>180</b>	205,979	256,813	252,040	237,454	245,592	245,255	234,162	220,896	238,222	245,613	243,122	241,360	233,550	233,663	240,677	236,655	238,803	229,317
<b>240</b>	205,850	257,312	252,256	237,994	246,137	245,719	234,275	220,945	238,308	245,783	243,250	241,409	234,103	234,356	241,220	236,696	239,199	229,715
<b>300</b>	206,050	257,180	252,272	237,505	245,674	244,822	234,577	221,509	239,130	246,131	243,940	242,548	234,395	234,720	241,255	236,525	239,038	229,380
<b>1440</b>	206,350	257,403	252,402	237,970	246,390	245,912	234,748	221,442	239,317	246,576	244,313	242,864	234,427	234,950	241,778	237,431	239,359	230,288
<b>2880</b>	206,493	257,974	253,333	238,906	247,581	246,871	235,529	222,027	239,938	246,972	245,040	243,455	235,583	235,130	241,806	237,269	239,213	230,308
<b>4320</b>	206,834	258,134	253,535	239,134	247,615	246,706	235,720	222,221	240,607	247,298	245,197	243,912	235,967	236,845	243,769	238,840	240,553	231,215
<b>5760</b>	206,520	258,215	253,592	238,941	247,246	246,800	235,756	222,179	240,793	247,112	245,172	243,541	236,154	236,301	242,941	238,692	240,711	231,844

Tabela A.5.2 14 – Quantidade de água absorvida durante o ensaio de capilaridade.

Quantidade de água absorvida [kg/m <sup>2</sup> ]								
Tempo [min <sup>0,5</sup> ]	CL2_25t(L)_FV	CL2_25t(L)_0,5FV	CL3_10t(ArF)_FV	CL3_10t(ArF)_0,5FV	CL2_25t(L)_FACrina	CL2_25t(L)_0,5FACrina	CL3_10t(ArF)_FACrina	CL3_10t(ArF)_0,5FACrina
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,24	10,74	10,51	11,88	10,78	12,71	12,79	13,84	14,88
3,16	15,34	14,87	15,06	14,25	16,49	16,43	16,90	17,90
3,87	16,20	17,00	17,32	16,42	18,45	18,90	19,24	19,73
5,48	17,61	18,43	18,64	17,84	18,94	19,58	19,70	19,83
7,75	19,80	20,14	20,44	19,91	19,05	20,24	20,34	19,97
10,95	20,15	20,71	20,87	19,95	19,24	20,39	20,63	20,02
13,42	20,23	20,92	21,48	20,16	19,43	20,53	20,77	20,20
15,49	20,30	21,18	21,61	20,31	19,79	21,09	20,85	20,47
17,32	20,59	21,12	21,97	20,57	19,81	20,79	21,19	20,35
37,95	21,35	22,04	22,27	21,28	19,98	21,08	21,31	20,82
53,67	21,85	22,47	22,98	21,47	20,65	21,43	21,95	21,37
65,73	22,19	22,64	23,40	22,11	20,83	21,78	22,34	21,54
75,89	22,22	22,54	23,61	22,33	21,06	21,78	22,46	21,75

Tabela A.5.2 15 - Quantidade de água absorvida durante o ensaio de capilaridade.

Quantidade de água absorvida [kg/m <sup>2</sup> ]								
Tempo [min <sup>0,5</sup> ]	CL2	CL2_25t(L)	CL3	CL3_10t(ArF)	CL2_25t(L)_FALã	CL2_25t(L)_0,5FALã	CL3_10t(ArF)_FALã	CL3_10t(ArF)_0,5FALã
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,24	16,98	12,83	12,14	13,26	16,16	14,50	15,91	14,41
3,16	19,79	16,21	14,79	15,70	18,36	16,54	17,76	16,06
3,87	19,91	18,24	16,17	17,38	20,00	18,79	19,64	17,20
5,48	20,09	18,93	16,72	17,89	20,24	19,48	20,58	18,81
7,75	20,14	19,10	17,42	18,73	20,83	20,22	21,17	19,41
10,95	20,44	19,18	17,49	18,89	21,01	20,23	21,23	19,48
13,42	20,67	19,30	17,78	19,03	21,12	20,39	21,33	19,71
15,49	20,73	19,46	17,90	19,35	21,17	20,46	21,70	19,89
17,32	20,71	19,35	17,92	18,97	21,52	20,91	21,85	19,75
37,95	20,84	19,73	18,06	19,44	21,58	21,15	22,01	20,19
53,67	20,82	20,39	18,40	20,08	22,00	21,51	22,29	20,13
65,73	21,29	20,56	18,55	20,10	22,21	21,70	23,14	20,93
75,89	21,17	20,39	18,51	20,00	22,25	21,58	22,89	21,06

Tabela A.5.2 16 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de secagem.

Massa dos Provetes [g]															
Tempo [min]	CL2_25t(L)_FV			CL2_25t(L)_0,5FV			CL3_10t(ArF)_FV			CL3_10t(ArF)_0,5FV			CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>		
0	221,334	232,780	231,504	254,437	244,594	233,175	236,461	234,495	233,033	246,823	242,896	240,564	232,674	234,404	228,788
60	220,112	231,411	231,216	253,436	243,198	231,468	235,253	233,287	231,828	245,635	242,232	239,772	231,581	233,461	227,511
120	219,628	230,690	230,627	252,755	242,400	230,633	234,437	232,526	231,028	244,861	241,662	239,199	230,822	232,591	226,669
180	219,233	230,169	230,260	252,368	241,970	230,100	233,860	231,948	230,601	244,502	241,393	238,831	230,213	231,958	226,115
240	218,738	229,671	229,819	251,746	241,408	229,584	233,054	231,197	229,841	244,070	240,894	238,309	229,617	231,318	225,517
300	218,187	229,074	229,298	251,344	240,974	229,034	232,246	230,319	229,127	243,675	240,506	237,904	228,989	230,787	225,030
360	217,720	228,384	228,792	250,889	240,378	228,704	231,518	229,381	228,492	243,354	240,170	237,571	228,538	230,342	224,577
420	217,322	227,812	228,225	250,608	239,887	228,400	230,635	228,471	227,799	243,036	239,862	237,274	228,050	229,852	223,940
480	216,689	227,283	227,680	250,200	239,512	227,697	229,944	227,605	227,113	242,721	239,518	236,938	227,559	229,286	223,542
1440	208,394	218,956	219,850	243,615	230,767	220,023	220,138	217,003	218,769	237,510	233,658	233,658	219,665	220,842	215,142
3120	198,414	210,085	211,319	234,134	220,823	211,008	210,764	206,944	209,066	228,496	224,608	221,738	210,765	210,326	204,671
4320	194,251	205,585	206,588	228,704	216,025	206,423	206,754	203,368	204,530	223,467	219,426	216,735	206,307	206,417	201,331
8640	189,200	199,247	199,439	221,205	210,699	200,495	201,446	198,999	198,441	215,074	211,355	209,032	201,190	202,140	197,401
10080	188,465	198,344	198,456	220,291	209,942	199,703	200,666	198,332	197,591	214,034	210,386	208,033	200,436	201,456	196,787
14400	187,435	196,787	196,786	218,707	208,745	198,481	199,336	197,442	196,192	212,303	208,852	206,446	199,275	200,633	195,977
18720	187,343	196,438	196,422	218,338	208,585	198,344	199,071	197,351	195,941	211,781	208,588	206,161	199,191	200,601	195,948
20160	187,368	196,450	196,434	218,335	208,371	198,365	199,066	197,356	195,942	211,782	208,604	206,171	199,206	200,625	195,963
21600	187,347	196,426	196,412	218,330	208,162	198,355	199,060	197,332	195,935	211,759	208,590	206,150	199,192	200,620	195,961
23040	187,367	196,431	196,423	218,350	208,040	198,370	199,080	197,353	195,947	211,765	208,603	206,155	199,208	200,628	195,979
24480	187,370	196,433	196,447	218,370	208,040	198,388	199,090	197,369	195,957	211,777	208,622	206,175	199,222	200,655	195,994
30240	187,397	196,510	196,524	218,453	208,101	198,475	199,192	197,455	196,050	211,867	208,259	206,259	199,305	200,731	196,076
31680	187,416	196,530	196,544	218,475	208,122	198,495	199,212	197,475	196,070	211,888	208,280	206,280	199,325	200,751	196,096

Tabela A.5.2 17 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de secagem.

Tempo [min]	Massa dos Provetes [g]														
	CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>			CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>			CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>			CL2			CL2_25t(L)		
0	243,381	234,403	268,346	244,953	251,327	265,473	238,895	241,742	231,663	250,351	245,981	252,188	241,645	234,148	248,244
60	220,112	231,411	231,216	253,436	243,198	231,468	235,253	233,287	231,828	245,635	242,232	239,772	231,581	233,461	227,511
120	219,628	230,690	230,627	252,755	242,400	230,633	234,437	232,526	231,028	244,861	241,662	239,199	230,822	232,591	226,669
180	219,233	230,169	230,260	252,368	241,970	230,100	233,860	231,948	230,601	244,502	241,393	238,831	230,213	231,958	226,115
240	218,738	229,671	229,819	251,746	241,408	229,584	233,054	231,197	229,841	244,070	240,894	238,309	229,617	231,318	225,517
300	218,187	229,074	229,298	251,344	240,974	229,034	232,246	230,319	229,127	243,675	240,506	237,904	228,989	230,787	225,030
360	217,720	228,384	228,792	250,889	240,378	228,704	231,518	229,381	228,492	243,354	240,170	237,571	228,538	230,342	224,577
420	217,322	227,812	228,225	250,608	239,887	228,400	230,635	228,471	227,799	243,036	239,862	237,274	228,050	229,852	223,940
480	216,689	227,283	227,680	250,200	239,512	227,697	229,944	227,605	227,113	242,721	239,518	236,938	227,559	229,286	223,542
1440	208,394	218,956	219,850	243,615	230,767	220,023	220,138	217,003	218,769	237,510	233,658	233,658	219,665	220,842	215,142
3120	198,414	210,085	211,319	234,134	220,823	211,008	210,764	206,944	209,066	228,496	224,608	221,738	210,765	210,326	204,671
4320	194,251	205,585	206,588	228,704	216,025	206,423	206,754	203,368	204,530	223,467	219,426	216,735	206,307	206,417	201,331
8640	189,200	199,247	199,439	221,205	210,699	200,495	201,446	198,999	198,441	215,074	211,355	209,032	201,190	202,140	197,401
10080	188,465	198,344	198,456	220,291	209,942	199,703	200,666	198,332	197,591	214,034	210,386	208,033	200,436	201,456	196,787
14400	187,435	196,787	196,786	218,707	208,745	198,481	199,336	197,442	196,192	212,303	208,852	206,446	199,275	200,633	195,977
18720	187,343	196,438	196,422	218,338	208,585	198,344	199,071	197,351	195,941	211,781	208,588	206,161	199,191	200,601	195,948
20160	187,368	196,450	196,434	218,335	208,371	198,365	199,066	197,356	195,942	211,782	208,604	206,171	199,206	200,625	195,963
21600	187,347	196,426	196,412	218,330	208,162	198,355	199,060	197,332	195,935	211,759	208,590	206,150	199,192	200,620	195,961
23040	187,367	196,431	196,423	218,350	208,040	198,370	199,080	197,353	195,947	211,765	208,603	206,155	199,208	200,628	195,979
24480	187,370	196,433	196,447	218,370	208,040	198,388	199,090	197,369	195,957	211,777	208,622	206,175	199,222	200,655	195,994
30240	187,397	196,510	196,524	218,453	208,101	198,475	199,192	197,455	196,050	211,867	208,259	206,259	199,305	200,731	196,076
31680	187,416	196,530	196,544	218,475	208,122	198,495	199,212	197,475	196,070	211,888	208,280	206,280	199,325	200,751	196,096

Tabela A.5.2 18 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de secagem.

Tempo[Min]	Massas dos provetes [g]																	
	CL3			CL3_10t(ArF)			CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>			CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>			CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>			CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>		
<b>0</b>	205,730	256,836	252,170	238,030	245,706	246,381	235,996	222,543	240,581	247,200	245,681	243,491	235,400	235,188	242,263	237,633	239,992	230,375
<b>60</b>	205,611	256,755	251,888	237,605	245,460	245,133	234,461	220,841	239,231	245,851	243,977	241,773	234,113	234,075	241,323	236,604	238,773	229,182
<b>120</b>	204,941	256,247	251,050	236,950	244,837	244,852	233,521	219,855	238,586	245,325	243,224	240,674	233,229	233,234	240,773	236,064	238,075	228,417
<b>180</b>	204,555	255,921	250,440	236,405	244,301	245,680	232,872	218,907	238,109	244,883	242,656	239,911	232,606	232,601	240,340	235,648	237,562	227,813
<b>240</b>	203,837	255,355	249,590	235,694	243,562	242,738	231,904	217,655	237,396	244,142	241,809	238,810	231,619	231,620	239,645	234,924	236,629	226,851
<b>300</b>	203,260	254,744	248,798	234,999	242,910	241,875	230,912	216,461	236,702	243,426	241,028	237,758	230,507	230,715	238,922	234,208	235,782	225,959
<b>360</b>	202,662	253,950	248,019	234,311	242,234	241,116	229,961	215,299	236,069	242,826	240,335	237,426	228,997	229,791	238,391	233,581	235,668	225,116
<b>420</b>	202,155	253,090	247,247	233,659	241,697	240,264	229,035	214,116	235,187	242,461	239,530	236,444	228,009	228,699	237,585	232,870	234,284	224,196
<b>480</b>	201,506	252,285	246,481	232,990	240,983	239,532	227,874	213,140	234,490	241,751	238,779	235,510	227,055	227,638	236,909	232,222	233,484	223,305
<b>1440</b>	192,561	241,485	235,925	224,518	231,954	230,060	215,006	202,355	223,578	232,601	227,753	225,254	214,611	215,803	226,644	223,222	223,904	213,590
<b>3120</b>	185,022	234,118	227,953	217,015	224,990	222,335	208,537	195,608	214,536	223,370	218,045	216,666	206,405	208,392	216,230	214,219	215,586	205,856
<b>4320</b>	183,296	231,694	226,042	213,970	221,235	219,845	205,740	193,596	210,482	219,153	215,520	214,290	204,149	205,539	212,441	210,720	212,640	203,134
<b>8640</b>	181,251	228,189	223,317	209,985	216,700	216,368	201,866	190,500	205,553	214,556	212,289	211,185	201,030	201,752	208,177	206,645	209,209	199,775
<b>10080</b>	181,248	227,595	222,873	209,392	216,334	215,787	201,185	190,029	204,802	213,856	211,754	210,692	200,525	201,148	207,532	206,036	208,677	199,269
<b>14400</b>	181,299	226,911	222,677	208,499	215,301	215,046	200,382	189,765	203,677	212,802	210,060	210,309	200,109	200,414	206,509	205,234	207,899	198,736
<b>18720</b>	181,333	226,930	222,703	208,435	215,168	215,002	200,358	189,779	203,601	212,710	211,024	210,300	200,098	200,384	206,512	205,178	207,818	198,711
<b>20160</b>	181,360	226,950	222,727	208,448	215,185	215,025	200,382	189,786	203,620	212,716	210,041	210,315	200,111	200,399	206,529	205,171	207,829	198,711
<b>21600</b>	181,360	226,950	222,723	208,443	215,181	215,008	200,378	189,788	203,611	212,704	211,036	210,310	200,102	200,396	206,518	205,168	207,812	197,710
<b>23040</b>	181,389	226,976	222,751	208,460	215,197	215,028	200,400	189,807	203,635	212,722	211,048	210,318	200,114	200,413	206,537	205,172	207,838	198,715
<b>24480</b>	181,412	226,991	222,772	208,475	215,121	215,041	200,415	189,826	203,639	212,744	211,068	210,342	200,128	200,439	206,558	205,180	207,850	198,740
<b>30240</b>	181,469	227,050	222,840	208,555	215,283	215,119	200,491	189,893	203,711	212,820	211,127	210,410	200,194	200,516	206,623	205,247	207,915	198,812
<b>31680</b>	181,487	227,073	222,862	208,576	215,305	215,141	200,511	189,912	203,731	212,841	211,148	210,431	200,214	200,536	206,644	205,268	207,936	198,832

Tabela A.5.2 19 – Teor de água durante o ensaio de secagem.

Tempo [hora <sup>0,5</sup> ]	Teor de água [%]							
	CL2_25t(L) _FV	CL2_25t(L)_0 _5FV	CL3_10t(ArF) _FV	CL3_10t(ArF) _0,5FV	CL2_25t(L)_FA crina	CL2_25t(L)_0,5F Acrina	CL3_10t(ArF)_FA crina	CL3_10t(ArF)_0,5F Acrina
<b>0,00</b>	18,69	17,53	19,40	17,00	17,22	16,30	16,46	16,96
<b>1,00</b>	18,19	16,87	18,78	16,57	16,66	15,82	16,21	16,36
<b>1,41</b>	17,88	16,49	18,38	16,27	16,25	15,50	15,91	15,96
<b>1,73</b>	17,66	16,28	18,11	16,11	15,94	15,32	15,73	15,68
<b>2,00</b>	17,41	16,00	17,72	15,88	15,63	15,02	15,44	15,35
<b>2,24</b>	17,12	15,78	17,31	15,69	15,36	14,77	15,18	14,98
<b>2,45</b>	16,83	15,56	16,92	15,53	15,13	14,49	14,87	14,60
<b>2,65</b>	16,57	15,39	16,50	15,38	14,86	14,21	14,58	14,22
<b>2,83</b>	16,27	15,14	16,12	15,22	14,61	13,95	14,17	13,87
<b>4,90</b>	12,03	11,44	11,25	12,92	10,44	9,71	10,08	8,92
<b>7,21</b>	7,28	6,87	6,30	8,11	5,41	5,13	5,78	4,40
<b>8,49</b>	4,97	4,50	4,25	5,68	3,44	3,35	3,85	2,82
<b>12,00</b>	1,77	1,49	1,57	1,80	1,19	1,18	1,47	0,92
<b>12,96</b>	1,31	1,10	1,18	1,32	0,85	0,77	1,09	0,63
<b>15,49</b>	0,58	0,46	0,57	0,55	0,38	0,50	0,44	0,31
<b>17,66</b>	0,44	0,35	0,47	0,37	0,35	0,28	0,32	0,30
<b>18,33</b>	0,45	0,32	0,47	0,38	0,36	0,25	0,33	0,31
<b>18,97</b>	0,44	0,29	0,46	0,37	0,36	0,30	0,32	0,30
<b>19,60</b>	0,44	0,27	0,47	0,37	0,37	0,30	0,32	0,31
<b>20,20</b>	0,45	0,28	0,47	0,38	0,38	0,31	0,33	0,31
<b>22,45</b>	0,48	0,31	0,52	0,35	0,42	0,35	0,36	0,34
<b>22,98</b>	0,49	0,33	0,53	0,36	0,43	0,36	0,37	0,35

Tabela A.5.2 20 – Teor de água durante o ensaio de secagem.

Tempo [hora <sup>0,5</sup> ]	Teor de água [%]							
	CL2	CL2_25t(L)	CL3	CL3_10t(ArF)	CL2_25t(L)_FALã	CL2_25t(L)_0,5FALã	CL3_10t(ArF)_FALã	CL3_10t(ArF)_0,5FALã
<b>0,00</b>	15,48	14,76	13,55	14,62	18,10	16,47	17,73	16,04
<b>1,00</b>	15,02	14,54	13,48	14,32	17,32	15,72	17,18	15,47
<b>1,41</b>	14,82	14,23	13,15	14,08	16,89	15,34	16,80	15,15
<b>1,73</b>	14,64	14,01	12,94	14,04	16,53	15,06	16,52	14,89
<b>2,00</b>	14,44	13,78	12,60	13,35	16,03	14,63	16,08	14,46
<b>2,24</b>	14,21	13,53	12,28	13,00	15,54	14,23	15,62	14,06
<b>2,45</b>	14,06	13,32	11,94	12,67	15,08	13,97	15,13	13,80
<b>2,65</b>	13,85	13,19	11,60	12,35	14,57	13,63	14,66	13,31
<b>2,83</b>	13,69	13,01	11,25	12,02	14,09	13,25	14,21	12,92
<b>4,90</b>	10,51	9,89	6,43	7,78	8,25	8,44	8,50	8,28
<b>7,21</b>	6,09	5,95	2,76	4,30	4,50	4,08	4,21	4,18
<b>8,49</b>	3,72	3,81	1,80	2,84	3,01	2,64	2,74	2,68
<b>12,00</b>	1,26	1,35	0,50	0,96	1,01	0,92	0,90	0,90
<b>12,96</b>	0,92	1,00	0,34	0,71	0,69	0,64	0,61	0,63
<b>15,49</b>	0,35	0,43	0,22	0,29	0,32	0,15	0,25	0,28
<b>17,66</b>	0,30	0,33	0,23	0,26	0,31	0,28	0,24	0,25
<b>18,33</b>	0,30	0,33	0,25	0,27	0,32	0,13	0,25	0,25
<b>18,97</b>	0,31	0,33	0,24	0,26	0,31	0,29	0,25	0,08
<b>19,60</b>	0,32	0,34	0,26	0,27	0,33	0,29	0,26	0,26
<b>20,20</b>	0,33	0,35	0,27	0,26	0,33	0,30	0,27	0,26
<b>22,45</b>	0,37	0,39	0,30	0,31	0,37	0,34	0,30	0,30
<b>22,98</b>	0,38	0,40	0,31	0,32	0,38	0,35	0,31	0,31



Tabela A.5.2 21 – Média da massa dos provetes ao longo dos ciclos de imersão/secagem – Traço 1:2.

Argamassas	Ciclos – Média da massa dos provetes [g]												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CL2	214,656	215,742	215,777	216,376	216,713	217,086	216,843	216,635	215,171	215,890	214,914	213,816	213,267
CL2_25t(L)	208,791	209,875	209,943	210,206	210,339	210,583	209,795	209,145	208,492	207,916	206,397	204,881	203,512
CL2_25t(L)_0,5FV	205,548	206,217	206,304	206,841	206,681	206,759	206,691	206,419	205,665	205,008	203,966	203,094	202,595
CL2_25t(L)_FV	190,527	190,995	191,087	191,773	191,425	191,495	191,136	190,760	189,746	189,184	188,751	188,013	187,302
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	212,075	212,944	212,985	212,952	203,589	140,317	87,888	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	195,357	195,843	195,888	195,967	63,377	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	208,910	209,470	209,505	209,817	209,616	209,241	209,167	208,828	209,662	206,422	204,814	202,678	201,063
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	195,137	195,846	195,879	196,121	195,752	195,391	195,363	194,753	193,767	192,499	190,693	188,998	188,031

Tabela A.5.2 22 – Média da massa dos provetes ao longo dos ciclos de imersão/secagem – Traço 1:2.

Argamassas	Ciclos – Média da massa dos provetes [g]												
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
CL2	211,643	210,087	208,307	206,125	203,251	198,408	191,189	183,688	178,437	175,317	169,266	160,653	154,480
CL2_25t(L)	201,056	198,130	196,429	190,979	186,597	181,260	173,082	167,351	162,789	157,750	149,294	136,321	131,025
CL2_25t(L)_0,5FV	200,640	198,830	196,748	195,781	191,686	183,756	176,261	171,438	167,614	164,475	155,913	151,961	140,175
CL2_25t(L)_FV	185,702	185,211	183,717	183,380	181,618	177,327	171,068	167,587	165,032	162,510	157,804	152,532	146,517
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	197,986	194,243	189,939	171,410	165,111	155,883	146,001	141,929	138,372	132,475	123,788	120,225	115,259
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	186,115	182,508	178,780	168,609	163,507	155,483	145,674	140,145	136,413	131,818	124,814	121,043	116,814

Tabela A.5.2 23 – Média da massa dos provetes ao longo dos ciclos de imersão/secagem – Traço 1:3.

Argamassas	Ciclos – Média da massa dos provetes [g]												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CL3	207,872	208,625	208,546	208,824	208,727	208,768	208,613	208,343	207,893	207,746	206,121	205,075	204,602
CL3_10t(ArF)	209,742	210,093	210,153	210,272	209,799	209,354	208,825	207,980	206,453	204,897	203,212	200,463	198,633
CL3_10t(ArF)_0,5FV	205,318	206,021	206,120	206,418	206,421	206,389	205,770	205,023	204,034	202,974	201,836	200,549	199,324
CL3_10t(ArF)_FV	193,814	194,401	194,499	194,954	194,671	194,797	194,377	193,679	193,260	192,589	191,489	190,786	190,184
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	200,753	201,237	201,387	201,078	200,845	199,845	198,180	171,109	166,368	46,712	0,000	0,000	0,000
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	215,487	215,957	215,976	171,796	154,492	58,113	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	200,750	201,297	201,343	201,243	201,084	200,513	200,345	199,272	198,086	197,336	195,605	193,152	191,134
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	199,343	200,041	200,065	200,046	199,595	199,015	198,545	197,121	196,177	194,569	190,481	187,909	185,458

Tabela A.5.2 24 – Média da massa dos provetes ao longo dos ciclos de imersão/secagem – Traço 1:3.

Argamassas	Ciclos – Média da massa dos provetes [g]												
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
CL3	202,957	200,019	194,296	192,332	188,238	182,472	166,705	161,118	157,504	153,554	147,171	144,754	132,440
CL3_10t(ArF)	196,095	193,669	186,118	187,420	181,712	175,027	162,644	157,969	154,005	147,821	138,945	136,021	127,551
CL3_10t(ArF)_0,5FV	197,408	195,020	192,060	189,911	186,284	179,963	175,662	170,163	165,156	161,062	152,272	142,657	130,956
CL3_10t(ArF)_FV	188,596	188,161	185,898	184,922	182,255	178,346	168,542	164,871	161,412	156,102	151,040	144,333	137,925
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	187,022	180,147	173,271	175,323	170,496	164,000	155,773	151,445	147,884	142,238	132,317	128,427	125,048
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	182,013	177,206	172,888	181,061	175,209	167,877	152,791	148,125	144,776	131,171	123,600	116,550	112,200

## A.6. Valores da caracterização das argamassas em estado endurecido aos 180 dias – Provetes prismáticos e em suporte tijolo

### A.6.1. Provetes em suporte tijolo

Tabela A.6.1 1 - Dureza superficial – Durómetro [Shore A] – Traço 1:2.

Argamassas	Medições [Durómetro - Shore A]										Média	DP
CL2	77	80	78	83	75	72	83	73	85	76	<b>78,15</b>	4,60
CL2_25t(L)	76	91	79	82	85	92	75	75	85	93	<b>83,35</b>	7,09
CL2_25t(L)_0,5FV	70	80	71	67	68	65	85	90	60	95	<b>75,11</b>	11,65
CL2_25t(L)_FV	65	80	75	90	69	71	84	72	97	62	<b>76,51</b>	11,08
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	87	85	77	66	76	81	74	77	76	78	<b>77,90</b>	5,84
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	70	69	88	64	75	63	91	61	60	88	<b>72,90</b>	12,00
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	61	90	80	88	76	70	66	73	68	79	<b>75,19</b>	9,32
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	76	79	84	89	75	80	81	88	73	84	<b>80,89</b>	5,54

Tabela A.6.1 2- Dureza superficial – Durómetro [Shore A] – Traço 1:3.

Argamassas	Medições [Durómetro - Shore A]										Média	DP
CL3	85	95	77	74	85	88	92	65	87	86	<b>83,93</b>	9,02
CL3_10t(ArF)	75	89	67	73	75	71	65	72	79	73	<b>73,90</b>	6,64
CL3_10t(ArF)_0,5FV	78	83	64	73	86	75	73	79	91	83	<b>78,50</b>	7,72
CL3_10t(ArF)_FV	89	92	74	66	90	73	75	95	71	81	<b>80,60</b>	10,19
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	79	81	83	75	77	81	76	72	85	89	<b>79,80</b>	5,07
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	91	65	73	88	64	95	77	73	93	59	<b>77,80</b>	13,16
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	85	88	70	75	73	85	89	93	71	92	<b>82,10</b>	8,94
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	85	74	88	89	71	77	84	86	92	89	<b>83,50</b>	7,07

Tabela A.6.1 3 – Condutibilidade térmica – Traço 1:2.

Argamassas	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	Média	DP
CL2	0,494	0,557	0,541	0,561	0,483	0,537	<b>0,529</b>	0,033
CL2_25t(L)	0,696	0,700	0,705	0,691	0,658	0,547	<b>0,666</b>	0,061
CL2_25t(L)_0,5FV	0,421	0,380	0,460	0,397	0,474	0,388	<b>0,420</b>	0,039
CL2_25t(L)_FV	0,321	0,439	0,429	0,493	0,411	0,380	<b>0,412</b>	0,058
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,548	0,505	0,519	0,512	0,517	0,501	<b>0,517</b>	0,017
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	0,454	0,382	0,435	0,414	0,359	0,410	<b>0,409</b>	0,035
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,491	0,505	0,605	0,666	0,537	0,555	<b>0,560</b>	0,066
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	0,636	0,627	0,622	0,689	0,637	0,658	<b>0,645</b>	0,025

Tabela A.6.1 4 – Condutibilidade térmica – Traço 1:2.

Argamassas	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	Média	DP
CL3	0,445	0,469	0,510	0,498	0,524	0,510	<b>0,493</b>	0,030
CL3_10t(ArF)	0,513	0,530	0,521	0,539	0,482	0,546	<b>0,522</b>	0,023
CL3_10t(ArF)_0,5FV	0,430	0,455	0,405	0,421	0,412	0,472	<b>0,433</b>	0,026
CL3_10t(ArF)_FV	0,343	0,358	0,411	0,391	0,456	0,424	<b>0,397</b>	0,042
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,466	0,527	0,494	0,502	0,448	0,539	<b>0,496</b>	0,035
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	0,330	0,426	0,353	0,430	0,416	0,368	<b>0,387</b>	0,042
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,664	0,613	0,648	0,635	0,538	0,632	<b>0,622</b>	0,044
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	0,597	0,640	0,622	0,564	0,652	0,615	<b>0,615</b>	0,032



Tabela A.6.1 5 – Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:2.

Argamas- sas	AB		AC		AD		AE		AF		FB		FC		FD		FE		Média- velocidade (m/s)	DP
	Te mp o (s)	Velo- cida- de (m/s)	Te mp o (s)	Velo- cida- de (m/s)	Te mp o (s)	Velo- cida- de (m/s)	Te mp o (s)	Velo- cida- de (m/s)	Te mp o (s)	Velo- cida- de (m/s)	Te mp o (s)	Velo- cida- de (m/s)	Te mp o (s)	Velo- cida- de (m/s)	Te mp o (s)	Velo- cida- de (m/s)	Te mp o (s)	Velo- cida- de (m/s)		
<b>CL2</b>	8,04 E-05	1226,01	1,47 E-04	1334,54	1,04 E-04	1028,31	1,30 E-04	1135,77	1,73 E-04	1292,25	1,13 E-04	1287,89	9,64 E-05	1150,50	1,55 E-04	1276,98	8,67 E-05	1131,40	<b>1207,07</b>	<b>100 ,78</b>
<b>CL2_25t(L)</b>	7,47 E-05	1318,42	1,24 E-04	1583,20	9,18 E-05	1166,79	1,03 E-04	1424,20	1,48 E-04	1514,10	1,12 E-04	1306,71	9,52 E-05	1165,01	1,38 E-04	1436,41	7,48 E-05	1311,90	<b>1358,53</b>	<b>143 ,94</b>
<b>CL2_25t(L)_ 0,5FV</b>	6,73 E-05	1463,32	1,20 E-04	1628,81	8,05 E-05	1330,50	1,12 E-04	1317,49	1,39 E-04	1608,57	1,19 E-04	1224,90	9,53 E-05	1163,38	1,19 E-04	1663,41	7,91 E-05	1241,10	<b>1404,61</b>	<b>191 ,24</b>
<b>CL2_25t(L)_ FV</b>	7,46 E-05	1321,37	1,14 E-04	1726,87	9,13 E-05	1173,60	1,02 E-04	1437,19	1,41 E-04	1582,37	1,07 E-04	1366,18	1,04 E-04	1069,83	1,11 E-04	1788,16	7,86 E-05	1248,47	<b>1412,67</b>	<b>245 ,27</b>
<b>CL2_25t(L)_ 0,5FA<sub>crina</sub></b>	8,36 E-05	1178,12	1,54 E-04	1276,04	1,04 E-04	1033,60	1,49 E-04	987,16	1,89 E-04	1185,31	1,37 E-04	1064,80	1,03 E-04	1079,55	1,85 E-04	1070,45	9,04 E-05	1085,11	<b>1106,68</b>	<b>89, 35</b>
<b>CL2_25t(L)_ FA<sub>crina</sub></b>	1,01 E-04	972,34	1,72 E-04	1137,55	8,87 E-05	1207,55	1,40 E-04	1049,86	2,10 E-04	1063,61	1,20 E-04	1217,75	9,00 E-05	1231,43	1,60 E-04	1236,55	7,55 E-05	1300,31	<b>1157,44</b>	<b>108 ,01</b>
<b>CL2_25t(L)_ 0,5FA<sub>Lä</sub></b>	6,76 E-05	1457,54	1,19 E-04	1647,52	8,32 E-05	1287,86	1,04 E-04	1415,98	1,41 E-04	1584,24	9,32 E-05	1567,49	8,57 E-05	1294,20	1,13 E-04	1749,18	6,60 E-05	1487,57	<b>1499,06</b>	<b>154 ,87</b>
<b>CL2_25t(L)_ FA<sub>Lä</sub></b>	6,97 E-05	1413,63	1,31 E-04	1500,00	8,01 E-05	1337,70	9,25 E-05	1591,06	1,71 E-04	1308,90	9,11 E-05	1603,62	8,10 E-05	1368,77	1,00 E-04	1971,02	6,35 E-05	1545,35	<b>1515,56</b>	<b>202 ,58</b>

Tabela A.6.1 6– Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:3.

Argamassas	AB		AC		AD		AE		AF		FB		FC		FD		FE		Média- velocidade (m/s)	DP
	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)	Tempo (s)	Velocidade (m/s)		
<b>CL3</b>	7,85 E-05	1255,16	1,44 E-04	1363,95	9,21 E-05	1162,99	1,24 E-04	1183,59	1,61 E-04	1389,20	1,10 E-04	1323,28	8,80 E-05	1260,36	1,26 E-04	1570,14	7,60 E-05	1291,18	<b>1311,10</b>	<b>122,70</b>
<b>CL3_10t(ArF)</b>	9,72 E-05	1013,68	1,52 E-04	1285,53	9,14 E-05	1172,32	1,24 E-04	1190,61	1,80 E-04	1243,35	1,14 E-04	1279,99	9,15 E-05	1211,25	1,53 E-04	1294,24	7,33 E-05	1339,35	<b>1225,59</b>	<b>95,98</b>
<b>CL3_10t(ArF)_0,5FV</b>	7,89 E-05	1249,32	1,15 E-04	1699,42	8,59 E-05	1247,38	1,09 E-04	1345,20	1,42 E-04	1572,34	9,99 E-05	1462,36	7,98 E-05	1388,77	1,28 E-04	1541,60	9,07 E-05	1081,52	<b>1398,66</b>	<b>191,65</b>
<b>CL3_10t(ArF)_FV</b>	8,45 E-05	1166,50	1,54 E-04	1276,60	1,02 E-04	1053,59	1,30 E-04	1132,27	1,57 E-04	1424,03	1,36 E-04	1076,04	9,80 E-05	1131,79	1,46 E-04	1358,51	8,38 E-05	1171,00	<b>1198,92</b>	<b>127,07</b>
<b>CL3_10t(ArF)_0,5FA<sub>crina</sub></b>	6,92 E-05	1424,53	1,10 E-04	1776,44	8,67 E-05	1235,87	9,91 E-05	1485,06	1,32 E-04	1691,05	1,05 E-04	1388,69	9,56 E-05	1159,73	1,15 E-04	1717,80	7,07 E-05	1388,63	<b>1474,20</b>	<b>215,24</b>
<b>CL3_10t(ArF)_FA<sub>crina</sub></b>	8,67 E-05	1136,88	1,12 E-04	1752,09	9,57 E-05	1120,03	1,16 E-04	1273,77	1,82 E-04	1226,96	1,26 E-04	1161,90	9,21 E-05	1203,80	1,35 E-04	1465,85	8,04 E-05	1221,03	<b>1284,70</b>	<b>202,90</b>
<b>CL3_10t(ArF)_0,5FA<sub>Lã</sub></b>	7,08 E-05	1391,67	1,11 E-04	1772,15	8,90 E-05	1203,48	1,09 E-04	1349,72	1,45 E-04	1539,83	9,70 E-05	1506,60	8,67 E-05	1279,27	1,16 E-04	1700,57	6,67 E-05	1470,48	<b>1468,20</b>	<b>186,63</b>
<b>CL3_10t(ArF)_FA<sub>Lã</sub></b>	7,09 E-05	1389,70	1,34 E-04	1463,05	8,62 E-05	1243,04	1,06 E-04	1386,62	1,67 E-04	1334,71	9,85 E-05	1483,15	8,85 E-05	1253,48	1,05 E-04	1880,49	6,91 E-05	1420,12	<b>1428,26</b>	<b>188,95</b>

Tabela A.6.1 7 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:3.

Tempo (minutos)	CL3					CL3_10t(ArF)					CL3_10t(ArF)_0,5FV					CL3_10t(ArF)_FV				
	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Média	DP	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Média	DP	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Média	DP	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Média	DP
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	25,30	31,50	36,00	30,93	4,39	23,90	23,50	24,40	23,93	0,37	26,00	31,00	23,00	26,67	3,30	23,50	22,10	27,30	24,30	2,20
10	43,60	44,50	-	44,05	0,45	45,90	48,50	42,40	45,60	2,50	46,00	59,00	41,50	48,83	7,42	39,50	35,50	-	37,50	2,00
15	55,60	58,50	-	57,05	1,45	64,90	70,50	62,40	65,93	3,39	56,00	78,00	56,50	63,50	10,26	51,50	46,20	-	48,85	2,65
30	77,80	89,70	-	83,75	5,95	104,90	126,50	106,40	112,60	9,85	84,00	121,50	89,50	98,33	16,53	75,50	74,10	-	74,80	0,70
60	121,80	132,80	-	127,30	5,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	113,90	113,90	-	113,90	0,00
$C_{abs} [kg/(m^2 \cdot min^{0,5})]$	32,73	35,69	-	<b>34,21</b>	1,48	39,87	48,08	40,44	<b>42,79</b>	3,74	31,92	46,18	34,01	<b>37,37</b>	6,28	30,61	30,61	-	<b>30,61</b>	0,00

Tabela A.6.1 8 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:3.

Tempo (minutos)	CL3_10t(ArF)_0,5FAcrina					CL3_10t(ArF)_FAcrina					CL3_10t(ArF)_0,5FALã					CL3_10t(ArF)_FALã				
	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Média	DP	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Média	DP	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Média	DP	Tubo 1	Tubo 2	Tubo 3	Média	DP
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	24,00	28,60	16,40	23,00	5,03	36,00	36,00	36,00	36,00	0,00	11,00	18,00	20,00	16,33	3,86	-	29,00	19,50	24,25	4,75
10	35,50	47,40	32,10	38,33	6,56	59,00	61,00	-	60,00	1,00	20,80	32,20	31,70	28,23	5,26	-	41,50	32,30	36,90	4,60
15	48,50	59,40	44,10	50,67	6,43	82,50	85,00	-	83,75	1,25	28,40	44,70	44,20	39,10	7,57	-	57,50	41,50	49,50	8,00
30	69,60	87,20	67,30	74,70	8,89	133,50	137,00	-	135,25	1,75	45,90	68,70	64,20	59,60	9,86	-	93,00	61,20	77,10	15,90
60	104,10	128,20	104,10	112,13	11,36	-	-	-	-	-	67,90	100,70	92,20	86,93	13,9	-	140,70	92,70	116,70	24,00
$C_{abs} [kg/(m^2 \cdot min^{0,5})]$	<b>26,45</b>	<b>33,14</b>	<b>25,58</b>	<b>28,39</b>	3,38	<b>50,74</b>	<b>52,07</b>	-	<b>51,40</b>	0,67	<b>18,25</b>	<b>27,06</b>	<b>24,78</b>	<b>23,36</b>	3,74	-	<b>37,81</b>	<b>24,91</b>	<b>31,36</b>	6,45





Tabela A.6.1 9 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:2.

Argamassas	Tempo p/ absorver 4 ml						
	Segundos			Média (s)	Média (min)	DP	C <sub>abs.4ml</sub>
CL3	11	14	9	11,33	0,19	2,52	19,16
CL3_10t(ArF)	28	15	15	19,33	0,32	7,51	14,67
CL3_10t(ArF)_0,5FV	13	12	14	13,00	0,22	1,00	17,89
CL3_10t(ArF)_FV	9	10	13	10,67	0,18	2,08	19,75
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	16	10	30	18,67	0,31	10,26	14,93
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	9	7	10	8,67	0,14	1,53	21,91
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	60	25	24	36,33	0,61	20,50	10,70
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	3	14	22	13,00	0,22	9,54	17,89

Tabela A.6.1 10 - Absorção de água sob baixa pressão - Tubos de Karsten – Traço 1:3.

Argamassas	Tempo p/ absorver 4 ml						
	Segundos			Média (s)	Média (min)	DP	C <sub>abs.4ml</sub>
CL2	40	28	35	34,33	0,57	6,03	11,01
CL2_25t(L)	34	58	25	39,00	0,65	17,06	10,33
CL2_25t(L)_0,5FV	20	20	14	18,00	0,30	3,46	15,20
CL2_25t(L)_FV	6	8	7	7,00	0,12	1,00	24,38
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	19	19	20	19,33	0,32	0,58	14,67
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	17	13	20	16,67	0,28	3,51	15,80
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	19	18	13	16,67	0,28	3,21	15,80
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	36	14	24	24,67	0,41	11,02	12,99

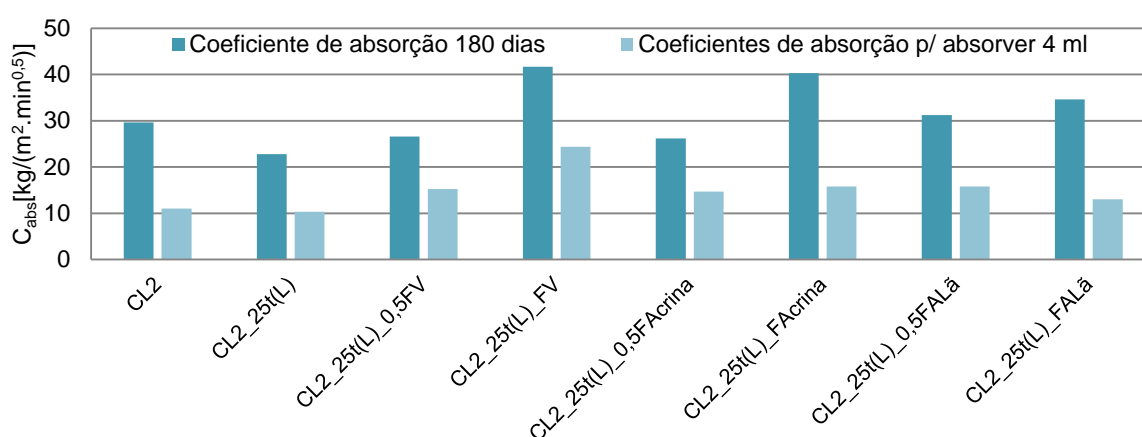


Figura A.6.1 - Coeficientes de absorção aos 60 min e após absorção de 4 ml – Traço 1:2.

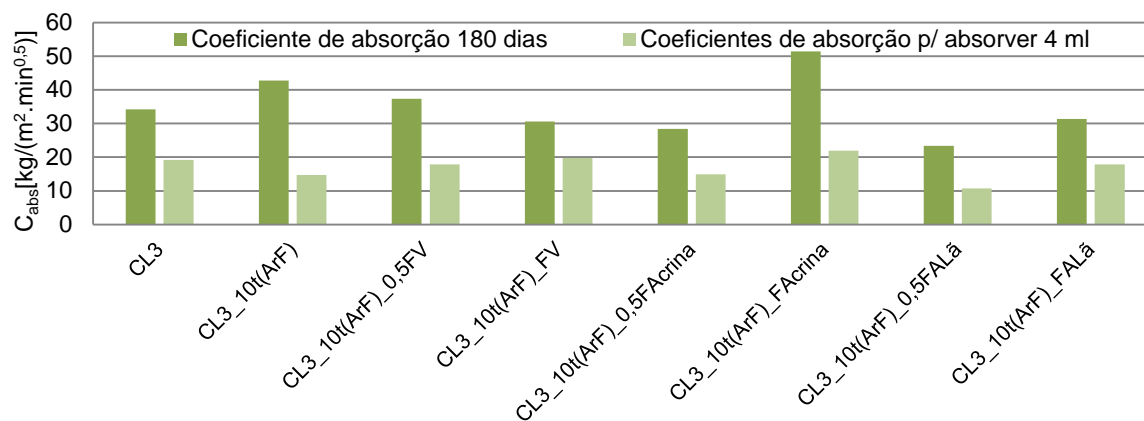


Figura A.6.2 - Coeficientes de absorção aos 60 min e após absorção de 4 ml – Traço 1:3.

## A.6.2. Provete prismáticos

Tabela A.6.2 1 – Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:2.

Argamas- sas	E [MPa] Dinâmico	Médi- a <sub>provete</sub>	Média	DP	Argamas- sas	E [MPa] Dinâmico	Médi- a <sub>provete</sub>	Média	DP						
CL2_25t(L) _FV	1662	1660,0	1703,0	59,4	CL2	2329	2333,8	2382,9	54,5						
	1673					2346									
	1640					2314									
	1665					2346									
	1745	1776,0				2428	2432,0								
	1756					2413									
	1767					2436									
	1836					2451									
	1672	1673,0			CL2_25t(L) )	2446	2429,3	2370,2	71,8						
	1670					2428									
	1695					2428									
	1655					2415									
CL2_25t(L) _0,5FV	1929	1919,8	1862,6	99,6		2274	2275,0								
	1889					2262									
	1861					2267									
	2000					2297									
	1814	1751,3				2408	2406,3								
	1643					2414									
	1780					2401									
	1768					2402									
	1934	1916,8			CL2_25t(L) )_0,5FA <sub>Lã</sub>	2104	2098,8	2036,5	171,9						
	1942					2122									
	1844					2042									
	1947					2127									
CL2_25t(L) _FA <sub>crina</sub>	2228	2228,5	2236,2	38,7		1869	1814,3								
	2223					1802									
	2226					1775									
	2237					1811									
	2300	2282,3				2203	2196,5								
	2267					2193									
	2292					2191									
	2270					2199									
	2197	2197,8			CL2_25t(L) )_FA <sub>Lã</sub>	2040	2006,3	1938,3	89,5						
	2181					2036									
	2191					2056									
	2222					1893									
CL2_25t(L) _0,5FA <sub>crina</sub>	2251	2240,8	2249,2	14,3		1879	1870,3								
	2246					1835									
	2240					1880									
	2226					1887									
	2242	2241,3				-	-								
	2249					-									
	2232					-									
	2242					-									
	2259	2265,5													
	2275														
	2266														
	2262														

Tabela A.6.2 2 – Módulo de elasticidade dinâmico – Traço 1:3.

Argamas- sas	E [MPa] Dinâmico	Médi- a <sub>provete</sub>	Média	DP	Argamas- sas	E [MPa] Dinâmico	Médi- a <sub>provete</sub>	Média	DP
CL3_10t(A rF)_FV	1564	1514,3	1503,8	55,4	CL3	2722	2578,5	2673,6	122,6
	1517					2401			
	1460					2617			
	1516					2574			
	1564	1529,0				2708	2643,0		
	1433					2632			
	1549					2624			
	1570					2608			
	1541	1468,3				2754	2799,3		
	1457					2807			
	1423					2813			
	1452					2823			
CL3_10t(A rF)_0,5FV	1981	1982,0	1865,4	206, 7	CL3_10t(A rF)	2384	2389,5	2358,3	46,1
	1983					2394			
	1969					2419			
	1995					2361			
	1499	1612,3				2378	2384,5		
	1750					2416			
	1739					2387			
	1461					2357			
	2032	2002,0				2295	2301,0		
	2074					2308			
	1916					2304			
	1986					2297			
CL3_10t(A rF)_FA <sub>crina</sub>	2269	2273,3	2233,2	42,5	CL3_10t(A rF)_0,5FA <sub>Lä</sub>	1997	1999,0	1950,0	66,4
	2309					2002			
	2263					1997			
	2252					2000			
	2184	2188,0				1836	1901,0		
	2175					1866			
	2193					1927			
	2200					1975			
	2284	2238,3				-	-		
	2234					-			
	2215					-			
	2220					-			
CL3_10t(A rF)_0,5FA <sub>crina</sub>	2157	2165,8	2117,1	40,6	CL3_10t(A rF)_FA <sub>Lä</sub>	1769	1815,5	1795,4	76,7
	2179					1802			
	2155					1900			
	2172					1791			
	2102	2108,8				1688	1723,5		
	2116					1787			
	2098					1716			
	2119					1703			
	2068	2076,8				1879	1847,3		
	2106					1740			
	2068					1869			
	2065					1901			

Tabela A.6.2 3 – Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:2.

Argamassas	v [km/s]	t [μs]	t [s]	v	m [kg]	L [mm]	V[m <sup>3</sup> ]	a[mm]	b[mm]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Ed [MPa]	Ed <sub>média</sub> [MPa]	DP
CL2_25t(L)_FV	1,102	145,1	1,45E-04	0,20	0,395	159,83	2,60E-04	39,96	40,78	1516,27	1655,77	1661,20	37,52
	1,088	146,5	1,47E-04		0,399	159,34	2,50E-04	39,80	39,39	1597,80	1701,13		
	1,084	147,0	1,47E-04		0,396	159,42	2,57E-04	39,98	40,40	1536,77	1626,68		
CL2_25t(L)_0,5FV	1,124	141,8	1,42E-04		0,412	159,35	2,50E-04	39,52	39,73	1648,27	1873,36	1788,01	75,75
	1,099	145,0	1,45E-04		0,409	159,41	2,57E-04	39,89	40,44	1589,28	1728,78		
	1,110	143,9	1,44E-04		0,409	159,66	2,57E-04	39,95	40,34	1590,26	1761,90		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	1,209	132,3	1,32E-04		0,414	160,00	2,58E-04	39,77	40,54	1605,29	2113,09	2154,09	49,68
	1,197	133,6	1,34E-04		0,414	159,95	2,50E-04	39,86	39,19	1658,76	2139,85		
	1,231	130,1	1,30E-04		0,416	160,18	2,57E-04	39,85	40,21	1619,41	2209,34		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	1,219	130,7	1,31E-04		0,416	159,37	2,59E-04	39,78	40,84	1605,62	2148,56	2168,46	34,30
	1,227	129,8	1,30E-04		0,414	159,20	2,61E-04	39,88	41,13	1587,12	2148,76		
	1,242	128,6	1,29E-04		0,421	159,77	2,65E-04	39,86	41,55	1589,50	2208,07		
CL2	1,200	133,4	1,33E-04		0,430	160,07	2,57E-04	39,40	40,78	1673,55	2168,65	2201,67	46,70
	1,216	131,4	1,31E-04		0,432	159,74	2,57E-04	39,69	40,60	1680,12	2234,70		
CL2_25t(L)	1,223	130,6	1,31E-04		0,432	159,76	2,58E-04	39,85	40,49	1675,68	2256,75	2222,58	39,27
	1,200	133,1	1,33E-04		0,427	159,75	2,54E-04	39,89	39,88	1681,22	2179,68		
	1,216	131,2	1,31E-04		0,426	159,48	2,54E-04	39,92	39,93	1677,92	2231,30		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	1,126	141,9	1,42E-04		0,404	159,82	2,54E-04	39,81	39,98	1588,90	1814,00	1858,46	62,89
	1,157	137,9	1,38E-04		0,401	159,56	2,54E-04	39,84	39,93	1579,29	1902,93		
	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	1,176	135,5	1,36E-04		0,426	159,29	2,63E-04	39,85	41,44	1621,18	2016,38	2067,61	69,59
	1,215	131,0	1,31E-04		0,419	159,22	2,60E-04	39,74	41,05	1614,74	2146,83		
	1,182	134,7	1,35E-04		0,423	159,18	2,60E-04	39,80	41,11	1622,79	2039,61		

Tabela A.6.2 4 – Velocidade de propagação de ultra-sons – Traço 1:3.

Argamassas	v [km/s]	t [μs]	t [s]	v	m [kg]	L [mm]	V[m <sup>3</sup> ]	a[mm]	b[mm]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	Ed [MPa]	Ed <sub>média</sub> [MPa]	DP
CL3_10t(ArF)_FV	1,075	148,6	1,49E-04	0,20	0,394	159,80	2,54E-04	39,83	39,98	1547,04	1610,13	1552,43	59,48
	1,035	154,4	1,54E-04		0,394	159,77	2,55E-04	39,91	39,96	1547,50	1491,31		
	1,055	151,3	1,51E-04		0,394	159,60	2,54E-04	39,98	39,75	1553,59	1555,85		
CL3_10t(ArF)_0,5FV	1,150	139,0	1,39E-04		0,411	159,90	2,57E-04	39,90	40,22	1601,19	1907,01	1830,62	165,86
	1,161	137,9	1,38E-04		0,412	160,08	2,57E-04	39,73	40,36	1603,34	1944,53		
	1,073	149,3	1,49E-04		0,407	160,26	2,57E-04	39,65	40,45	1581,82	1640,33		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	1,242	128,6	1,29E-04		0,422	159,78	2,61E-04	40,11	40,75	1616,00	2245,16	2072,39	219,58
	1,213	131,6	1,32E-04		0,412	159,60	2,54E-04	39,61	40,20	1621,74	2146,73		
	1,118	143,0	1,43E-04		0,416	159,86	2,57E-04	40,07	40,07	1622,86	1825,29		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	1,084	146,9	1,47E-04		0,417	159,18	2,54E-04	39,85	40,08	1640,12	1733,22	1821,67	144,67
	1,088	146,7	1,47E-04		0,414	159,60	2,53E-04	39,85	39,80	1636,41	1743,17		
	1,178	135,4	1,35E-04		0,414	159,50	2,60E-04	40,09	40,62	1592,30	1988,62		
CL3	1,274	125,5	1,26E-04		0,434	159,87	2,62E-04	40,04	40,97	1653,21	2414,44	2471,67	58,19
	1,275	125,5	1,26E-04		0,432	159,99	2,56E-04	39,96	40,02	1688,57	2469,79		
	1,293	123,7	1,24E-04		0,433	159,98	2,58E-04	39,97	40,30	1681,20	2530,78		
CL3_10t(ArF)	1,192	135,9	1,36E-04		0,436	162,02	2,61E-04	40,02	40,18	1672,92	2140,02	2185,63	71,04
	1,223	132,3	1,32E-04		0,434	161,79	2,57E-04	40,09	39,69	1684,68	2267,48		
	1,200	135,1	1,35E-04		0,435	162,15	2,63E-04	40,09	40,40	1657,87	2149,40		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	1,114	143,4	1,43E-04		0,404	159,73	2,59E-04	39,89	40,73	1556,22	1737,75	1690,14	70,27
	1,082	147,5	1,48E-04		0,397	159,55	2,60E-04	39,77	40,92	1528,34	1609,43		
	1,112	143,7	1,44E-04		0,402	159,76	2,60E-04	40,17	40,49	1549,10	1723,24		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	1,119	142,5	1,43E-04		0,412	159,40	2,57E-04	39,84	40,47	1603,81	1806,10	1829,24	32,72
	1,131	140,9	1,41E-04		0,409	159,40	2,55E-04	39,78	40,16	1608,17	1852,38		

Tabela A.6.2 5 – Condutibilidade térmica - 180 dias.

Argamassas	$\lambda$ [w/m.K]	$\lambda_{\text{média}}$ [w/m.K]	Argamassas	$\lambda$ [w/m.K]	$\lambda_{\text{média}}$ [w/m.K]
CL2_25t(L)_FV	0,582	0,640	CL3_10t(ArF)_FV	0,615	0,610
	0,657			0,576	
	0,680			0,638	
CL2_25t(L)_0,5FV	0,720	0,684	CL3_10t(ArF)_0,5FV	0,624	0,628
	0,648			0,598	
	0,684			0,662	
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	0,500	0,635	CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	0,730	0,731
	0,684			0,718	
	0,720			0,744	
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,684	0,708	CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,710	0,702
	0,688			0,691	
	0,752			0,705	
CL2	0,799	0,811	CL3	0,835	0,865
	0,823			0,836	
CL2_25t(L)	0,843	0,837		CL3_10t(ArF)	
	0,817		0,895		
	0,851		0,827		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	0,691	0,720	CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	0,795	0,570
	0,784			0,661	
	0,684			0,566	
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,677	0,691	CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	0,482	0,686
	0,715			0,667	
	0,682			0,651	
				0,739	

Tabela A.6.2 6 – Resistência à tração e à compressão – traço 1:2.

Argamassas	Flexão [N]	Resistên- cia à trac- ção [MPa]	Média	DP	Compres- são [N]	Resistência à compressão [MPa]	Média	DP
CL2_25t(L)_FV	63,40	0,149	0,16	0,01	717,00	0,448	0,44	0,02
	71,00	0,166			670,00	0,419		
	70,50	0,165			707,00	0,442		
CL2_25t(L)_0,5FV	74,00	0,173	0,18	0,01	722,60	0,452	0,44	0,01
	73,00	0,171			692,00	0,433		
	81,00	0,190			698,00	0,436		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	85,80	0,201	0,22	0,02	811,00	0,507	0,53	0,03
	94,40	0,221			820,00	0,513		
	102,00	0,239			898,00	0,561		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	89,80	0,210	0,24	0,03	790,00	0,494	0,51	0,03
	103,40	0,242			794,00	0,496		
	111,70	0,262			882,00	0,551		
CL2	107,40	0,252	0,26	0,01	899,00	0,562	0,60	0,06
	111,60	0,262			1028,00	0,643		
CL2_25t(L)	110,50	0,259	0,26	0,01	844,00	0,528	0,54	0,02
	108,80	0,255			838,00	0,524		
	113,20	0,265			890,50	0,557		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	81,70	0,191	0,19	0,00	792,00	0,495	0,48	0,03
	81,40	0,191			805,00	0,503		
	Fendilhado				712,20	0,445		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	99,20	0,233	0,23	0,01	839,50	0,525	0,55	0,04
	95,50	0,224			946,00	0,591		
	103,50	0,243			840,00	0,525		

Tabela A.6.2 7 – Resistência à tração e à compressão – traço 1:3.

Argamassas	Flexão [N]	Resistên- cia à trac- ção [MPa]	Média	DP	Compres- são [N]	Resistência à compressão [MPa]	Média	DP
CL3_10t(ArF)_FV	58,20	0,136	0,13	0,01	637,00	0,40	0,39	0,01
	56,80	0,133			610,00	0,38		
	52,00	0,122			638,00	0,40		
CL3_10t(ArF)_0,5 FV	81,00	0,190	0,20	0,01	730,00	0,46	0,45	0,02
	81,30	0,191			753,00	0,47		
	88,80	0,208			700,00	0,44		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	87,00	0,204	0,22	0,03	901,00	0,56	0,52	0,04
	84,50	0,198			795,00	0,50		
	106,00	0,248			805,00	0,50		
CL3_10t(ArF)_0,5 FA <sub>crina</sub>	95,00	0,223	0,20	0,02	705,00	0,44	0,44	0,01
	81,40	0,191			691,00	0,43		
	83,50	0,196			726,00	0,45		
CL3	121,70	0,285	0,27	0,02	925,00	0,58	0,57	0,04
	108,80	0,255			836,00	0,52		
	112,20	0,263			962,70	0,60		
CL3_10t(ArF)	100,00	0,234	0,23	0,02	865,00	0,54	0,51	0,04
	108,10	0,253			851,20	0,53		
	88,20	0,207			751,40	0,47		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	77,40	0,181	0,19	0,01	728,00	0,46	0,44	0,01
	87,00	0,204			698,20	0,44		
	84,30	0,198			681,00	0,43		
CL3_10t(ArF)_0,5 FA <sub>Lã</sub>	81,70	0,191	0,17	0,03	750,50	0,47	0,45	0,01
	64,70	0,152			709,00	0,44		
	Rachado				719,50	0,45		



Tabela A.6.2 8 – Porosidade aberta e massa volúmica – Traço 1:2.

Argamassas	M1 <sub>seca</sub> [g]	M2 <sub>hidrostática</sub> [g]	M3 <sub>saturada</sub> [g]	P.A [%]	Média	DP	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Média	DP
CL2_25t(L)_FV	62,450	34,329	72,85	26,998	26,314	0,620	1621,19	1652,38	27,36
	43,376	24,222	50,159	26,152			1672,36		
	54,724	30,313	63,208	25,791			1663,60		
CL2_25t(L)_0,5FV	66,490	37,068	76,167	24,750	24,657	0,823	1700,56	1692,44	7,06
	53,433	29,844	61,477	25,429			1689,15		
	57,813	31,706	65,963	23,791			1687,63		
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	60,146	33,653	68,47	23,908	24,985	1,158	1727,49	1714,47	13,24
	56,040	31,73	64,675	26,210			1701,02		
	58,149	32,663	66,571	24,838			1714,91		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	59,948	33,455	68,7	24,832	25,305	0,439	1700,89	1713,31	26,35
	50,930	28,611	58,65	25,700			1695,46		
	66,221	37,882	75,862	25,384			1743,58		
CL2	66,012	37,842	75,029	24,248	24,221	0,038	1775,14	1776,29	1,63
	62,740	35,982	71,28	24,194			1777,44		
CL2_25t(L)	68,709	38,873	77,588	22,934	23,166	0,404	1774,74	1773,79	13,47
	59,442	33,803	67,071	22,932			1786,76		
	55,471	31,400	62,92	23,633			1759,87		
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	59,140	32,530	68,08	25,148	23,558	1,639	1663,57	1690,16	32,06
	57,425	31,346	65,504	23,652			1681,16		
	55,875	30,580	62,957	21,874			1725,76		
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	59,203	32,903	67,387	23,733	22,081	4,211	1716,83	1709,44	13,88
	55,475	28,770	61,059	17,294			1718,08		
	58,850	32,861	67,613	25,216			1693,43		

Tabela A.6.2 9 – Porosidade aberta e massa volúmica – Traço 1:3.

Argamassas	M1 <sub>seca</sub> [g]	M2 <sub>hidrostática</sub> [g]	M3 <sub>saturada</sub> [g]	P.A [%]	Média	DP	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Média	DP
CL3_10t(ArF)_FV	40,066	21,847	46,550	26,248	26,813	0,590	1621,91	1614,01	10,14
	46,170	25,261	54,071	27,425			1602,57		
	47,260	25,863	55,080	26,765			1617,55		
CL3_10t(ArF)_0,5FV	37,083	20,751	41,850	22,593	24,418	1,596	1757,57	1707,81	44,12
	71,333	39,600	82,226	25,555			1673,46		
	49,085	27,363	56,366	25,104			1692,41		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	50,380	28,415	57,552	24,615	24,356	1,735	1729,07	1723,94	23,68
	63,888	36,027	73,650	25,947			1698,11		
	63,618	35,360	71,825	22,507			1744,63		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	73,593	41,458	84,036	24,527	24,649	0,135	1728,43	1723,67	10,36
	61,578	34,524	70,497	24,794			1711,78		
	49,089	27,712	56,074	24,628			1730,80		
CL3	50,985	28,537	57,258	21,841	22,005	0,149	1775,18	1774,21	0,99
	65,677	36,820	73,837	22,044			1774,24		
	58,874	33,020	66,222	22,131			1773,21		
CL3_10t(ArF)	52,825	30,000	59,596	22,878	22,676	0,176	1784,87	1771,67	11,48
	68,214	38,283	76,951	22,595			1764,09		
	46,980	26,378	52,98	22,555			1766,03		
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	54,331	30,205	63,199	26,878	27,164	0,322	1646,69	1641,28	6,80
	42,220	23,38	49,224	27,101			1633,65		
	42,509	23,76	49,625	27,512			1643,50		
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	62,652	35,101	72,014	25,362	25,704	0,303	1697,29	1691,17	5,94
	55,965	31,451	64,551	25,940			1690,79		
	85,040	47,606	98,062	25,809			1685,43		

Tabela A.6.2 10 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de capilaridade.

Massa dos Provetes [g]															
Min	CL2_25t(L)_FV			CL2_25t(L)_0,5FV			CL3_10t(ArF)_FV			CL3_10t(ArF)_0,5FV			CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>		
<b>0</b>	184,669	208,838	190,336	197,491	194,218	199,558	209,643	201,036	190,605	229,898	182,052	215,344	203,606	205,878	207,862
<b>5</b>	200,606	225,110	207,064	213,725	209,969	216,496	225,614	217,802	207,255	246,820	197,440	231,462	220,530	224,639	223,570
<b>10</b>	204,449	228,495	211,612	217,682	213,634	220,045	228,730	221,362	211,212	251,041	202,273	235,490	224,356	228,988	227,893
<b>15</b>	206,913	231,234	213,089	220,276	216,614	223,152	231,706	224,012	213,813	254,166	205,322	238,814	227,780	232,899	231,194
<b>30</b>	212,410	236,624	218,092	225,330	221,487	227,250	236,409	229,160	219,290	259,955	208,450	244,614	231,390	236,136	236,829
<b>60</b>	214,285	241,375	219,880	225,936	222,657	227,230	239,999	233,353	221,304	262,826	208,615	246,093	232,518	236,918	237,873
<b>120</b>	214,766	242,690	221,295	227,215	223,328	229,570	243,100	233,970	222,010	263,600	209,565	247,610	232,888	237,255	238,037
<b>180</b>	214,707	242,990	221,805	227,423	223,530	229,380	243,262	234,155	222,139	263,660	209,820	247,900	233,122	237,705	238,150
<b>240</b>	214,938	243,070	222,196	228,192	224,520	229,525	243,381	233,961	222,321	263,647	209,560	247,931	233,373	237,999	238,264
<b>1440</b>	216,175	244,296	223,471	228,770	224,560	230,359	244,635	235,795	223,684	265,259	211,000	249,168	233,533	239,016	239,263
<b>2880</b>	217,219	245,330	224,135	229,658	225,262	231,252	245,700	236,915	224,934	265,738	211,326	249,808	234,956	240,081	240,148
<b>4320</b>	217,770	245,830	224,832	230,240	225,360	231,670	246,136	237,136	225,372	266,190	211,455	250,096	235,070	240,020	240,280
<b>5760</b>	217,903	245,978	224,683	229,800	225,832	231,770	246,198	237,886	225,809	266,206	211,987	250,802	235,551	239,875	239,919

Tabela A.6.2 11 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de capilaridade.

Massa dos Provetes [g]																	
Min	CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>			CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>			CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>			CL2		CL2_25t(L)			CL3		
0	203,759	216,590	201,283	211,578	204,298	206,298	188,064	206,925	211,146	219,186	206,106	206,480	203,372	208,410	222,641	214,530	218,799
5	222,824	235,246	221,593	231,042	222,828	225,125	203,976	224,159	228,394	237,998	224,625	222,771	216,999	224,109	236,671	228,174	232,694
10	227,783	240,224	228,526	236,762	227,951	230,546	210,340	228,846	231,595	244,181	230,934	224,830	221,162	228,743	242,156	232,915	237,345
15	232,588	244,091	230,663	240,673	231,547	233,920	213,890	232,960	235,675	248,930	233,920	229,524	225,999	232,572	246,201	236,667	241,300
30	234,221	248,396	231,558	242,760	233,826	235,961	215,440	237,278	241,852	249,333	234,238	232,701	229,369	236,051	250,615	241,182	245,420
60	234,067	248,542	231,280	243,089	234,400	236,920	215,710	237,938	243,070	250,231	235,220	234,041	230,865	236,010	250,666	241,227	246,084
120	234,300	249,030	232,530	243,139	235,371	237,725	215,735	237,800	242,860	250,275	235,280	233,999	230,999	236,300	251,150	241,722	246,104
180	234,650	249,220	232,430	243,840	234,888	237,151	216,091	238,226	243,520	250,400	235,320	233,977	230,731	236,380	250,999	241,596	245,566
240	234,551	249,138	232,413	244,153	234,999	237,422	216,166	238,074	243,230	250,750	235,421	234,250	231,062	236,291	251,070	241,664	245,560
1440	235,346	250,378	233,441	245,263	235,931	238,364	216,845	238,941	244,001	250,664	235,522	234,530	231,366	236,753	251,514	242,522	246,654
2880	235,974	250,833	234,432	246,328	236,725	239,277	217,303	239,505	244,803	251,080	236,003	234,922	232,064	237,302	252,280	242,639	246,981
4320	235,900	250,780	234,350	246,420	237,170	239,910	217,400	239,638	244,868	251,240	236,050	234,600	231,420	236,964	252,140	242,800	247,007
5760	236,095	251,067	234,750	246,497	237,750	239,962	217,430	239,701	245,478	251,278	236,253	235,274	231,960	237,040	252,497	242,852	247,176

Tabela A.6.2 12 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de capilaridade.

Massa dos Provestes [g]															
Min	CL3_10t(ArF)			CL2_25t(L)_FA <sub>Lā</sub>			CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lā</sub>			CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lā</sub>			CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lā</sub>		
<b>0</b>	220,484	200,448	230,450	206,400	200,138	190,676	213,672	218,214	215,918	197,350	204,415	197,488	208,830	190,336	136,717
<b>5</b>	235,873	214,801	245,152	224,757	216,991	210,364	230,030	234,211	231,830	215,917	223,349	216,966	226,381	208,904	154,106
<b>10</b>	240,711	219,611	250,020	229,291	222,560	215,870	235,235	239,900	237,195	221,268	227,815	221,665	230,673	213,451	156,484
<b>15</b>	244,696	223,770	253,960	232,898	226,460	219,550	238,048	243,922	240,647	224,974	231,368	225,491	234,536	216,881	156,375
<b>30</b>	248,690	226,410	260,018	237,820	231,444	221,269	243,578	249,924	245,657	228,533	237,042	228,837	239,453	219,834	156,715
<b>60</b>	249,290	226,410	260,730	238,480	231,930	221,475	243,860	250,960	247,260	230,340	236,612	228,980	239,680	220,090	157,450
<b>120</b>	249,433	226,875	261,036	238,104	231,830	222,606	244,850	251,050	246,640	229,995	238,241	229,470	240,215	219,780	157,680
<b>180</b>	248,860	227,209	261,376	238,640	232,350	222,281	244,880	251,404	247,101	230,650	238,210	230,545	240,520	220,635	157,802
<b>240</b>	249,579	227,090	261,285	238,233	232,699	222,435	245,282	251,530	247,370	230,950	238,611	229,971	240,699	220,400	157,604
<b>1440</b>	249,700	227,550	261,840	239,313	232,291	223,276	245,725	252,173	247,680	231,926	239,650	230,594	241,486	221,035	158,038
<b>2880</b>	250,328	227,872	262,277	240,253	234,159	223,424	245,903	252,599	248,374	232,348	239,920	230,806	241,766	221,612	158,320
<b>4320</b>	250,650	227,825	262,290	240,158	234,283	223,785	246,270	252,800	248,500	232,641	240,168	231,420	242,488	222,150	158,999
<b>5760</b>	250,726	228,356	262,642	240,440	234,393	224,040	246,274	253,150	248,638	232,966	240,235	231,260	242,353	222,283	158,753

Tabela A.6.2 13 – Quantidade de água absorvida durante o ensaio de capilaridade.

Quantidade de água absorvida [kg/m <sup>2</sup> ]								
[min <sup>0,5</sup> ]	CL2_25t(L)_FV	CL2_25t(L)_0,5FV	CL3_10t(ArF)_FV	CL3_10t(ArF)_0,5FV	CL2_25t(L)_FACrina	CL2_25t(L)_0,5FACrina	CL3_10t(ArF)_FACrina	CL3_10t(ArF)_0,5FACrina
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,24	10,20	10,19	10,29	10,09	10,71	12,09	11,84	10,50
3,16	12,65	12,52	12,50	12,81	13,31	15,60	15,23	13,47
3,87	14,04	14,33	14,22	14,79	15,53	17,86	17,49	15,91
5,48	17,35	17,25	17,41	17,86	18,13	19,28	18,83	18,42
7,75	19,10	17,62	19,45	18,80	18,74	19,22	19,22	18,87
10,95	19,77	18,51	20,37	19,48	18,92	19,63	19,60	18,80
13,42	19,93	18,56	20,47	19,60	19,09	19,72	19,52	19,10
15,49	20,08	18,95	20,50	19,55	19,23	19,68	19,67	19,03
37,95	20,85	19,25	21,42	20,44	19,68	20,32	20,29	19,51
53,67	21,43	19,77	22,14	20,75	20,38	20,75	20,87	19,89
65,73	21,79	20,00	22,37	20,93	20,42	20,71	21,11	19,95
75,89	21,82	20,03	22,63	21,19	20,42	20,89	21,26	20,10

Tabela A.6.2 14 – Quantidade de água absorvida durante o ensaio de capilaridade.

Quantidade de água absorvida [kg/m <sup>2</sup> ]								
[min <sup>0,5</sup> ]	CL2	CL2_25t(L)	CL3	CL3_10t(ArF)	CL2_25t(L)_FALã	CL2_25t(L)_0,5FALã	CL3_10t(ArF)_FALã	CL3_10t(ArF)_0,5FALã
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,24	11,67	9,50	8,66	9,26	11,44	10,06	11,87	11,15
3,16	15,57	11,77	11,76	12,28	14,69	13,44	14,89	13,48
3,87	17,99	14,55	14,21	14,80	17,02	15,59	17,20	14,98
5,48	18,21	16,64	16,93	17,45	19,44	19,03	19,82	16,69
7,75	18,80	17,22	17,08	17,72	19,72	19,64	20,14	16,95
10,95	18,83	17,30	17,29	17,91	19,86	19,74	20,51	17,04
13,42	18,88	17,26	17,12	17,93	20,01	19,91	20,87	17,31
15,49	19,02	17,36	17,15	18,04	20,03	20,08	20,89	17,25
37,95	19,03	17,58	17,65	18,27	20,35	20,37	21,44	17,64
53,67	19,31	17,92	17,90	18,56	20,96	20,64	21,63	17,88
65,73	19,37	17,65	17,91	18,62	21,04	20,78	21,87	18,28
75,89	19,45	17,92	18,03	18,82	21,18	20,89	21,92	18,23

Tabela A.6.2 15 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de secagem.

Massa dos Provetes [g]															
Horas	CL2_25t(L)_FV			CL2_25t(L)_0,5FV			CL3_10t(ArF)_FV			CL3_10t(ArF)_0,5FV			CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>		
0	217,903	245,978	224,683	229,800	225,832	231,770	246,198	237,886	225,809	266,206	211,987	250,802	235,551	239,875	240,215
1	217,029	244,946	223,892	229,151	224,899	231,182	245,425	236,388	224,777	265,507	211,374	249,673	234,763	239,670	240,015
2	216,829	244,718	223,732	228,999	224,717	230,999	245,299	236,275	224,615	265,247	211,139	249,510	234,476	239,368	239,887
3	216,590	244,499	223,563	228,733	224,561	230,756	245,076	236,053	224,383	264,912	210,930	248,999	234,345	239,160	239,720
4	216,408	244,307	223,450	228,591	224,370	230,653	244,931	235,891	224,191	264,688	210,812	248,891	234,195	239,046	239,581
5	216,193	244,086	223,320	228,407	224,227	230,511	244,711	235,728	224,042	264,417	210,689	248,699	233,974	238,826	239,373
6	215,987	243,903	223,192	228,267	224,236	230,401	244,525	235,560	223,880	264,155	210,588	248,531	233,770	238,644	239,204
24	212,650	240,805	221,221	226,004	222,624	228,620	241,259	232,977	221,842	260,228	209,260	245,780	230,690	235,720	236,322
48	208,197	236,617	218,525	222,733	220,257	226,087	236,991	229,385	218,816	254,712	207,286	241,623	226,356	231,679	232,529
72	204,872	233,555	216,409	220,529	218,625	224,332	234,125	226,753	216,782	251,080	205,927	238,337	223,640	228,848	229,754
168	193,034	219,390	203,095	206,600	207,085	211,111	218,200	211,400	202,806	236,144	195,605	223,672	210,040	216,431	217,025
192	191,092	217,339	201,284	204,370	204,174	207,981	216,191	208,928	200,113	234,740	192,015	221,340	209,231	214,104	215,020
216	189,790	215,541	198,032	203,060	201,915	205,631	214,850	207,330	198,178	233,890	190,890	219,891	208,013	212,563	213,735
240	188,871	214,300	197,357	202,031	200,208	204,190	213,957	206,383	196,790	233,077	189,171	218,023	207,167	211,486	212,767
264	187,806	212,940	195,515	200,759	198,314	202,677	212,676	204,953	194,970	232,098	187,042	217,906	206,187	210,211	211,628
336	186,142	210,562	192,661	198,907	195,745	200,698	210,832	202,872	192,569	230,782	184,125	216,386	204,639	207,882	209,617
360	185,815	210,111	192,090	198,503	195,175	200,350	210,474	202,910	192,066	230,588	183,561	216,168	204,370	207,367	209,191
384	185,645	209,638	191,672	198,285	194,818	200,181	210,227	202,102	191,696	230,743	183,167	216,016	204,179	206,888	208,865
408	185,510	209,683	191,318	198,129	194,583	200,107	210,094	201,872	191,373	230,423	182,845	215,940	204,162	206,537	208,570
432	185,461	209,599	191,082	198,080	194,490	200,080	210,009	201,734	191,199	230,398	182,699	215,899	204,140	206,318	208,415

Tabela A.6.2 16 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de secagem.

Massas dos Provetes [g]																	
Horas	CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>			CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>			CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>			CL2		CL2_25t(L)			CL3		
<b>0</b>	236,095	251,067	234,750	246,497	237,750	239,962	217,430	239,701	245,478	251,278	236,253	235,274	231,960	237,040	252,497	242,852	247,176
<b>1</b>	235,392	250,237	234,040	245,732	236,715	239,482	216,859	239,454	244,706	250,418	235,487	234,199	231,237	236,554	251,545	242,264	246,517
<b>2</b>	235,217	250,103	233,650	245,480	236,520	239,158	216,585	238,821	244,510	250,155	235,248	233,921	230,916	236,251	251,279	241,918	246,319
<b>3</b>	235,069	249,945	233,484	245,243	236,427	239,124	216,400	238,524	244,300	249,967	235,120	233,689	230,748	236,033	250,999	241,788	246,193
<b>4</b>	235,000	249,800	233,268	245,040	236,281	238,950	216,281	238,431	244,183	249,712	235,079	233,618	230,679	235,933	250,933	241,607	246,012
<b>5</b>	234,858	249,623	233,140	244,883	236,170	238,900	216,143	238,400	244,010	249,433	234,882	233,430	230,501	235,703	250,753	241,483	245,853
<b>6</b>	234,713	249,530	233,033	244,744	236,062	238,798	215,999	238,321	243,842	249,189	234,720	233,275	230,361	235,491	250,587	241,326	245,709
<b>24</b>	232,576	247,585	230,702	242,146	233,873	236,770	213,270	236,466	240,500	244,713	231,672	230,289	227,570	231,980	247,671	238,620	243,224
<b>48</b>	229,456	244,683	227,552	238,677	230,787	233,735	209,254	233,840	235,575	238,410	227,082	226,243	223,651	226,781	243,328	234,834	238,977
<b>72</b>	227,030	242,600	225,021	235,949	228,765	231,660	206,724	232,075	231,886	234,293	224,191	223,622	221,929	223,328	240,485	232,220	236,304
<b>168</b>	213,886	230,241	212,500	222,700	215,235	218,427	194,027	220,344	218,189	223,470	212,757	213,236	210,608	212,870	229,138	221,600	225,654
<b>192</b>	211,360	227,457	209,863	220,257	212,284	215,266	192,374	217,404	216,354	222,418	211,044	211,593	208,930	211,802	227,532	219,788	223,607
<b>216</b>	209,774	225,053	208,195	218,690	210,331	213,234	191,351	215,070	214,963	221,700	209,893	210,590	207,830	211,023	226,366	218,400	222,309
<b>240</b>	208,575	223,440	206,916	217,694	209,391	211,406	190,611	213,477	213,925	221,130	209,153	209,825	206,972	210,497	225,464	217,496	221,312
<b>264</b>	207,191	221,646	205,457	216,273	207,950	210,406	189,873	211,744	212,929	220,539	208,366	208,975	205,999	209,924	224,556	216,578	220,503
<b>336</b>	205,044	218,810	203,173	213,865	205,615	207,948	188,624	208,943	211,431	219,771	207,625	207,527	204,393	209,104	223,675	214,951	219,165
<b>360</b>	204,675	218,232	202,673	213,302	205,245	207,543	188,574	208,552	211,256	219,694	206,758	207,189	204,009	208,983	222,941	214,754	219,070
<b>384</b>	204,438	217,709	202,265	212,858	204,937	207,132	188,434	207,952	211,223	219,682	206,706	207,042	203,805	208,955	222,927	214,760	219,104
<b>408</b>	204,378	217,786	201,993	212,528	204,895	206,990	188,471	207,705	211,066	219,570	206,760	207,009	203,765	209,007	222,987	214,759	219,176
<b>432</b>	204,350	217,150	201,760	212,333	204,885	206,932	188,500	207,594	211,044	219,582	206,786	206,970	203,725	209,015	223,020	214,781	219,240



Tabela A.6.2 17 – Massa dos provetes ao longo do ensaio de secagem.

Massa dos Provetes [g]															
Horas	CL3_10t(ArF)			CL2_25t(L)_FA <sub>Lā</sub>			CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lā</sub>			CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lā</sub>			CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lā</sub>		
0	250,726	228,356	262,642	240,440	234,393	224,040	246,274	253,150	248,638	232,966	240,235	231,260	242,353	222,283	158,753
1	249,933	227,502	261,874	239,968	233,947	223,606	246,182	252,411	247,871	232,167	239,540	230,636	241,622	221,537	158,135
2	249,678	227,233	261,578	239,688	233,607	223,211	245,957	252,141	247,499	231,882	239,212	230,338	241,268	221,266	157,740
3	249,559	226,963	261,230	239,436	233,351	222,858	245,763	251,810	247,231	231,733	238,999	230,080	240,934	221,150	157,563
4	249,390	226,787	261,033	239,270	233,146	222,647	245,571	251,601	246,978	231,605	238,699	229,880	240,640	221,033	157,399
5	249,214	226,580	260,780	239,080	232,948	222,414	245,338	251,259	246,706	231,375	238,392	229,630	240,300	220,809	157,199
6	249,044	226,385	260,546	238,905	232,755	222,235	245,183	251,139	246,457	231,201	238,113	229,430	239,984	220,660	157,020
24	246,236	223,178	256,450	235,338	230,022	219,220	242,224	247,532	242,337	228,103	233,368	225,704	234,968	217,860	154,158
48	241,999	218,600	250,998	230,680	226,478	215,265	238,178	242,364	236,338	223,686	226,882	220,280	227,875	213,605	150,767
72	239,261	215,600	247,260	227,560	224,370	213,035	235,833	239,357	232,832	221,143	223,041	217,162	223,490	211,025	148,643
168	228,893	204,079	237,090	215,780	216,247	203,866	226,775	228,156	221,892	210,123	211,900	206,239	214,468	202,342	140,883
192	227,128	203,650	235,791	213,634	214,030	201,642	224,333	226,117	220,481	207,427	209,170	204,109	213,164	199,880	138,370
216	225,870	202,713	234,772	211,016	212,072	199,727	222,240	224,691	219,440	205,131	208,130	202,725	212,254	197,873	138,513
240	224,812	202,032	233,988	210,934	210,363	198,209	220,669	223,636	218,695	204,011	208,278	201,789	211,602	195,222	137,947
264	223,800	201,413	233,099	209,835	208,353	196,562	219,027	222,526	217,920	202,626	207,394	200,678	210,829	194,530	137,411
336	221,862	200,676	231,700	207,815	204,626	193,670	216,281	220,346	216,740	199,934	205,672	198,753	209,621	192,080	137,159
360	221,927	200,520	231,373	207,310	203,677	192,850	215,562	219,713	216,522	199,233	205,215	198,294	209,384	191,450	137,072
384	221,262	200,548	231,267	207,076	203,010	192,340	215,151	219,326	216,504	198,821	205,063	198,181	209,405	191,188	137,117
408	221,200	200,500	231,200	206,850	202,300	191,750	214,700	218,945	216,420	198,345	204,860	197,956	209,319	190,917	137,112
432	221,205	200,650	231,310	206,923	201,850	191,450	214,550	218,890	216,560	198,228	204,963	198,100	209,480	191,009	137,302

Tabela A.6.2 18 – Teor de água dos provetes durante o ensaio de secagem.

Teor de água [%]								
Tempo [hora <sup>0,5</sup> ]	CL2_25t(L)_FV	CL2_25t(L)_0,5FV	CL3_10t(ArF)_FV	CL3_10t(ArF)_0,5FV	CL2_25t(L)_FAcrina	CL2_25t(L)_0,5FAcrina	CL3_10t(ArF)_FAcrina	CL3_10t(ArF)_0,5FAcrina
0,00	17,94	16,26	18,08	16,23	15,92	16,14	16,40	15,90
1,00	17,48	15,89	17,53	15,85	15,73	15,78	16,03	15,64
1,41	17,38	15,80	17,46	15,74	15,61	15,66	15,91	15,46
1,73	17,27	15,69	17,35	15,57	15,53	15,59	15,85	15,35
2,00	17,19	15,62	17,26	15,50	15,46	15,52	15,77	15,29
2,24	17,09	15,54	17,18	15,41	15,36	15,45	15,72	15,24
2,45	17,00	15,50	17,09	15,33	15,27	15,39	15,66	15,17
4,90	15,56	14,54	15,79	14,09	13,83	14,36	14,56	13,86
6,93	13,62	13,16	13,98	12,29	11,86	12,88	13,02	11,95
8,49	12,16	12,22	12,73	11,00	10,51	11,74	11,93	10,63
12,96	5,43	5,68	5,21	4,68	4,23	5,62	5,50	4,33
13,86	4,43	4,28	4,01	3,45	3,40	4,34	4,12	3,27
14,70	3,34	3,28	3,20	2,90	2,75	3,43	3,23	2,50
15,49	2,86	2,57	2,65	2,18	2,28	2,77	2,62	1,95
16,25	2,13	1,78	1,90	1,63	1,73	2,03	2,00	1,38
18,33	0,95	0,69	0,84	0,67	0,78	0,86	0,84	0,47
18,97	0,72	0,47	0,70	0,50	0,58	0,63	0,63	0,37
19,60	0,54	0,34	0,46	0,43	0,42	0,45	0,44	0,24
20,20	0,46	0,26	0,34	0,31	0,31	0,40	0,36	0,19
20,78	0,40	0,23	0,28	0,28	0,25	0,26	0,32	0,17

Tabela A.6.2 19 – Teor de água dos provetes durante o ensaio de secagem.

Teor de água [%]								
[hora^0,5]	CL2	CL2_25t(L)	CL3	CL3_10t(ArF)	CL2_25t(L)_FALã	CL2_25t(L)_0,5FALã	CL3_10t(ArF)_FALã	CL3_10t(ArF)_0,5FALã
<b>0,00</b>	14,63	13,91	13,19	13,87	17,04	15,47	17,56	16,32
<b>1,00</b>	14,25	13,54	12,86	13,50	16,81	15,23	17,20	15,92
<b>1,41</b>	14,13	13,40	12,74	13,37	16,64	15,09	17,05	15,72
<b>1,73</b>	14,06	13,30	12,65	13,26	16,49	14,97	16,95	15,60
<b>2,00</b>	13,99	13,26	12,59	13,17	16,40	14,87	16,84	15,50
<b>2,24</b>	13,88	13,16	12,52	13,08	16,29	14,74	16,71	15,35
<b>2,45</b>	13,79	13,08	12,45	12,98	16,20	14,66	16,60	15,23
<b>4,90</b>	12,03	11,58	11,21	11,43	14,64	13,01	14,68	13,24
<b>6,93</b>	9,47	9,45	9,33	9,24	12,61	10,66	11,96	10,54
<b>8,49</b>	7,83	8,19	8,09	7,79	11,36	9,30	10,38	8,87
<b>12,96</b>	2,59	2,99	3,12	2,84	6,50	4,49	4,86	4,02
<b>13,86</b>	1,94	2,28	2,28	2,31	5,40	3,57	3,59	2,77
<b>14,70</b>	1,49	1,81	1,69	1,82	4,32	2,87	2,80	2,30
<b>15,49</b>	1,18	1,46	1,27	1,43	3,75	2,35	2,48	1,60
<b>16,25</b>	0,86	1,07	0,86	1,04	2,95	1,80	1,92	1,22
<b>18,33</b>	0,50	0,45	0,28	0,43	1,50	0,86	0,85	0,54
<b>18,97</b>	0,27	0,31	0,12	0,36	1,12	0,62	0,58	0,37
<b>19,60</b>	0,26	0,25	0,13	0,25	0,88	0,49	0,47	0,34
<b>20,20</b>	0,25	0,24	0,14	0,23	0,62	0,35	0,32	0,28
<b>20,78</b>	0,26	0,23	0,16	0,27	0,50	0,34	0,34	0,36

Tabela A.6.2 20 – Média da massa dos provetes ao longo dos ciclos de imersão/secagem – Traço 1:2.

Ciclos – Média da massa dos provetes [g]													
Argamassas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CL2	209,872	210,550	210,200	209,066	206,285	204,283	201,284	189,685	177,882	173,059	166,851	161,674	141,938
CL2_25t(L)	210,511	211,467	209,088	206,829	204,884	201,113	197,343	190,318	184,158	175,016	171,199	164,787	153,665
CL2_25t(L)_0,5FV	195,876	196,921	196,760	195,648	194,772	193,729	192,539	186,209	179,166	169,569	166,769	163,828	155,627
CL2_25t(L)_FV	193,721	194,719	194,152	193,037	191,125	189,910	188,015	183,842	180,433	176,328	174,154	171,393	165,935
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	205,784	206,029	204,737	201,939	196,552	191,836	182,902	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	204,168	203,918	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	209,439	210,158	209,582	207,322	203,544	200,860	197,692	186,287	186,203	175,513	171,765	158,498	144,284
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	198,906	200,713	200,019	196,705	194,215	191,900	189,178	180,208	175,879	165,865	161,803	155,620	142,740

Tabela A.6.2 21 – Média da massa dos provetes ao longo dos ciclos de imersão/secagem – Traço 1:2.

Ciclos – Média da massa dos provetes [g]													
Argamassas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
CL2	129,856	113,858	95,748	91,686	88,733	84,330	64,639	60,723	58,724	56,796	50,279	35,836	33,327
CL2_25t(L)	148,832	132,181	114,053	110,150	107,588	106,115	89,467	86,406	85,403	78,831	69,610	39,128	36,389
CL2_25t(L)_0,5FV	147,785	132,903	117,359	113,159	108,401	105,302	93,989	89,668	89,075	84,679	52,660	41,633	38,719
CL2_25t(L)_FV	160,350	145,870	134,007	129,292	125,925	123,402	111,291	105,418	104,608	100,948	95,975	79,086	73,550
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL2_25t(L)_FA <sub>crina</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL2_25t(L)_0,5FA <sub>Lã</sub>	135,816	124,789	113,915	106,596	97,352	91,764	82,315	80,064	77,103	74,384	66,458	51,890	48,258
CL2_25t(L)_FA <sub>Lã</sub>	132,748	124,106	113,811	106,400	68,490	65,660	60,451	58,735	57,385	55,685	54,369	45,608	42,416

Tabela A.6.2 22 – Média da massa dos provetes ao longo dos ciclos de imersão/secagem – Traço 1:3.

Ciclos – Média da massa dos provetes [g]													
Argamassas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CL3	217,031	217,056	216,823	211,378	209,548	207,148	204,149	195,248	189,514	179,474	176,856	169,700	154,460
CL3_10t(ArF)	211,285	211,871	210,973	208,581	206,254	197,644	202,243	194,126	183,562	176,869	175,175	161,878	137,353
CL3_10t(ArF)_0,5FV	207,696	208,524	207,598	205,728	204,356	203,538	202,262	194,808	190,009	183,173	181,504	178,836	173,726
CL3_10t(ArF)_FV	199,140	200,080	199,555	198,863	197,819	196,914	194,355	188,724	181,905	173,670	171,940	168,019	161,207
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	200,312	200,542	199,221	127,611	122,162	95,997	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	205,882	206,488	137,564	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	162,698	163,406	167,902	162,274	160,187	159,459	157,606	147,783	143,683	133,164	130,109	119,990	104,200
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	202,576	203,170	202,932	200,539	197,432	196,152	193,994	184,947	174,093	164,146	155,698	157,514	146,163

Tabela A.6.2 23 - – Média da massa dos provetes ao longo dos ciclos de imersão/secagem – Traço 1:3.

Ciclos – Média da massa dos provetes [g]													
Argamassas	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
CL3	144,689	128,881	116,344	111,306	99,429	96,187	83,859	80,213	79,203	75,587	61,377	46,699	43,430
CL3_10t(ArF)	127,982	110,797	97,697	90,001	87,674	86,279	71,503	67,810	46,801	44,381	38,007	29,980	27,881
CL3_10t(ArF)_0,5FV	165,662	149,132	133,877	125,555	118,621	115,841	99,521	95,085	92,586	88,670	82,348	59,505	55,340
CL3_10t(ArF)_FV	156,516	146,390	134,776	125,897	120,266	119,191	111,956	108,027	107,089	100,842	95,149	78,890	73,367
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>crina</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL3_10t(ArF)_FA <sub>crina</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CL3_10t(ArF)_0,5FA <sub>Lã</sub>	96,297	50,277	44,118	39,593	35,078	32,612	28,791	26,340	25,335	24,188	23,085	19,005	17,674
CL3_10t(ArF)_FA <sub>Lã</sub>	137,697	124,152	113,439	105,317	94,788	91,779	80,638	77,287	75,072	72,836	63,689	53,078	49,363